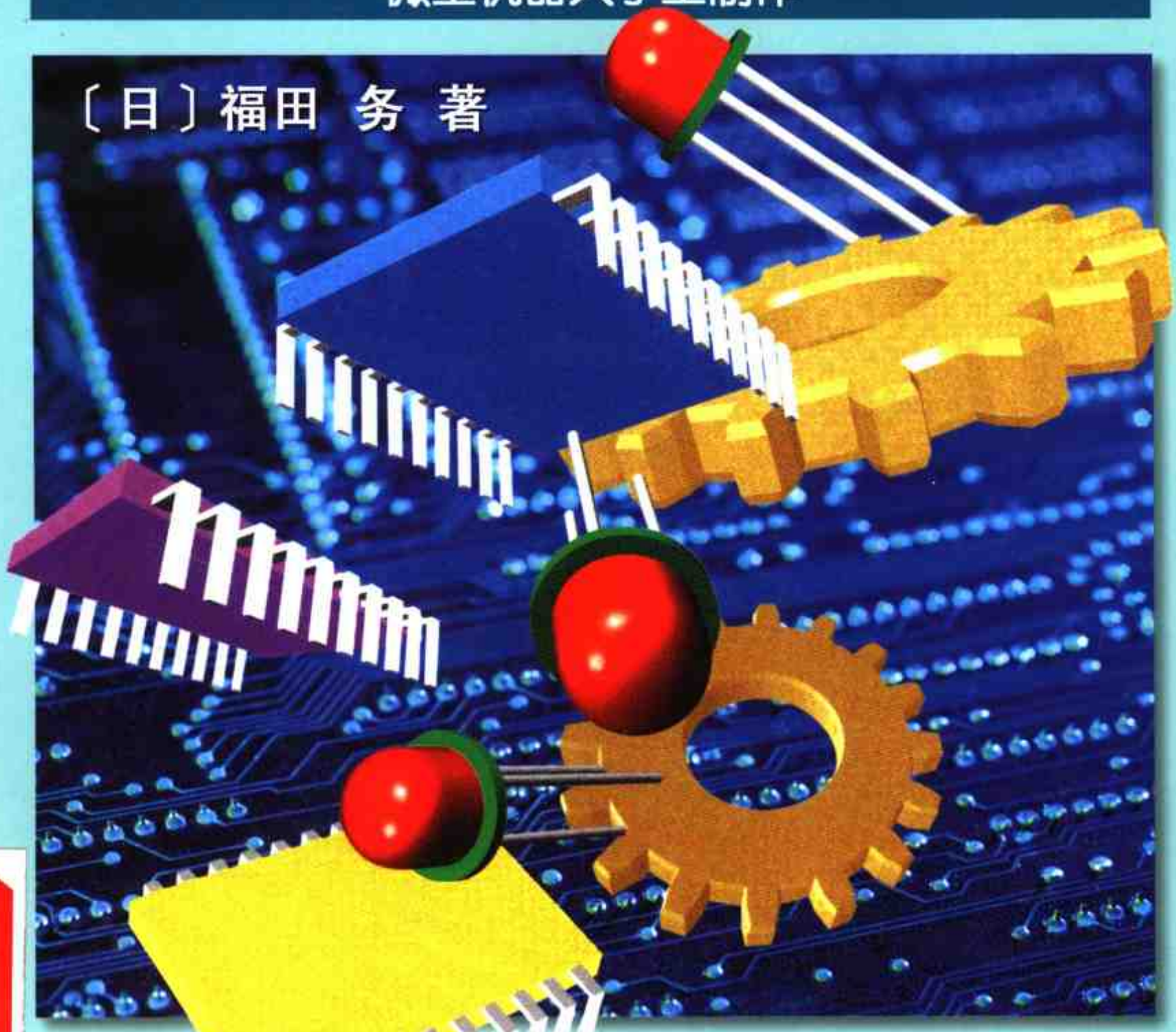
OHM 电子爱好者读物

电子电路入门

微型机器人手工制作

〔日〕福田 务 著



科学出版社
www.sciencep.com

(TN-0469.0101)
责任编辑　崔炳哲
责任制作　魏　谨
责任印制　刘士平
封面设计　李　力

◇◇◇◇◇◇◇ 内　容　简　介 ◇◇◇◇◇◇◇

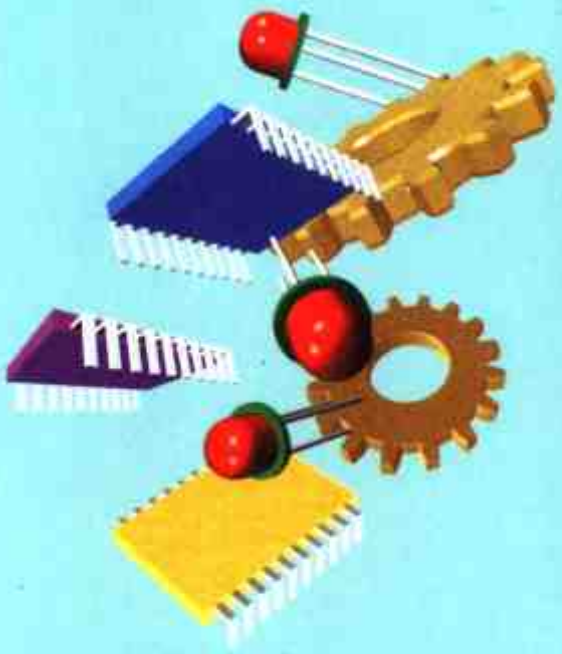
“OHM电子爱好者读物”系列共有6本，涉及电子电路、电子机械、电子控制、数字电路、机电一体化、电子技术等。本系列以初学者为对象，以实用技术为重点，利用丰富的插图，甚至建立模拟教室以对话的形式、通俗易懂地介绍相关内容。阅读本系列的读者最好边学习边实践，以使所学知识变成自己有用的技能。

本书是“OHM电子爱好者读物”之一，全书共分两部分。第一部分主要介绍电子电路方面的基础知识，例如各种半导体器件的性质及工作原理、小信号放大电路、负反馈放大电路、高效率放大电路以及FET放大电路等等；第二部分作为第一部分内容的实践部分，主要介绍微型机器人的手工制作方法等。

本书可供自学电子电路以及对机器人制作感兴趣的读者学习使用。

OHM电子爱好者读物

- 电子电路入门
- 数字电路入门
- 电子机械入门
- 电子电路与电子技术入门
- 电子控制入门
- 机电一体化入门



ISBN 7-03-011307-1
9 787030 113078 >

ISBN 7-03-011307-1
定　价: 21.00 元

OHM电子爱好者读物

电子电路入门

微型机器人手工制作

〔日〕福田　务　著
牛连强　张胜男　译
刘本伟　校

科学出版社
北京

图字：01-2003-0409 号

Original Japanese language edition
Hajimete Manabu Denshi Kairo Nyumon Beginner Kyoushitsu
By Tsutomu Fukuda
Copyright 1999 by Tsutomu Fukuda
Published by Ohmsha, Ltd.
This Chinese version published by Science Press, Beijing
Under license from Ohmsha, Ltd.
Copyright 2003
All rights reserved

初めて学ぶ
電子回路入門ビギナー教室
福田 務 オーム社 1999

图书在版编目(CIP)数据

电子电路入门/(日)福田 务著;牛连强,张胜男译.--北京:科学出版社,2003
(OHM 电子爱好者读物)

ISBN 7-03-011307-1

Ⅰ.电… Ⅱ.①福…②牛…③张… Ⅲ.电子电路—基本知识 Ⅳ.TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 019536 号

责任编辑 崔炳哲 **责任制作** 魏 谨
责任印制 刘士平 **封面设计** 李 力

科学出版社 出版
北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
http://www.sciencep.com
北京东方科龙图文有限公司 制作
http://www.okbook.com.cn
源海印刷有限责任公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销

2003 年 7 月第 一 版 开本:B5(720×1000)
2003 年 7 月第一次印刷 印张:12 3/4
印数:1-5 000 字数:211 000

定 价:21.00 元
(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前言

◎ 电子电路初学者教室

第一部分重点介绍高等职业专科学校的电工专业和电子专业学生必须掌握的电子电路基础知识。为了避免读者学习时的枯燥乏味，采用了两名学生和一位博士对话的形式，简明易懂地介绍相关内容，这使读者感到自己仿佛在教室里跟老师亲密接触一样，希望能够进一步提高学习效率。本部分介绍的电子电路技术就是在日常生活中常见到的家用电器、计算机等的基础制作技术。

第二部分是由增永清一先生编写的“微型机器人手工制作入门”，也就是第一部分介绍的电子电路基础知识的实践部分。

希望读者通过本书的学习对电子电路知识有系统的认识。

东京都立乌山工业高等学校特约顾问　福田　务

◎ 微型机器人手工制作入门

众所周知，机器人是由机构部分和电子元器件部分组成的。本书中介绍的传感型机器人和竞技型机器人是用丙烯树脂板、铝板及铝制角材制成的。因为所采用的铝制角材，容易用钢锯加工成所需的尺寸，并且用手摇钻容易打孔，所以与采用丙烯树脂板相比，使用工具少。另外，因为所有的组合都用螺钉完成，所以不需要黏接。

希望读者亲自动手实践，以便牢固掌握前面介绍的知识。

微型机器人手工制作增永工作室主任教授　增永清一

固定电阻的色环读法

●小知识●

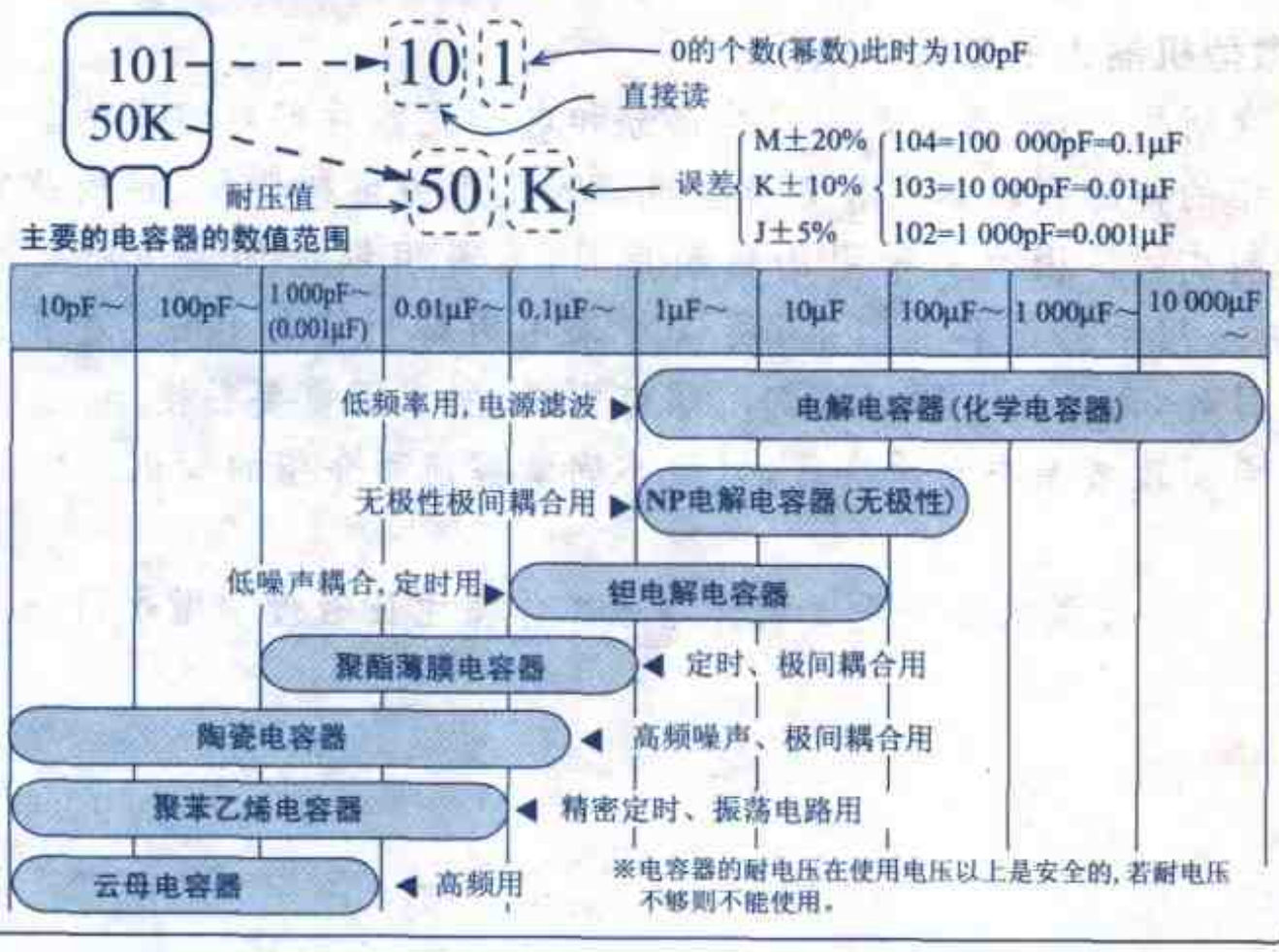


※有4个色环时，前3个为数码环

颜 色	第一色环	第二色环	第三色环	第四色环（幂数）	第五色环
黑	0	0	0	第1、2、3色环不变	—
棕	1	1	1	$\times 10^1$	1%
红	2	2	2	$\times 10^2$	2%
橙	3	3	3	$\times 10^3$	—
黄	4	4	4	$\times 10^4$	—
绿	5	5	5	$\times 10^5$	—
蓝	6	6	6	$\times 10^6$	—
紫	7	7	7	$\times 10^7$	—
灰	8	8	8	$\times 10^8$	—
白	9	9	9	$\times 10^9$	—
金				$10^{-1}(0.1)$	5%
银				$10^{-2}(0.02)$	10%

电容数值的读法

●小知识●



著者简历

福田　务

东京都立乌山工业高等学校特约顾问

本书著作权和专有出版权受到《中华人民共和国著作权法》的保护。凡对本书的一部分或全部进行转载，或用复印机进行复制，或在其他场合引用，以及录入电子设备等行为，均属侵害著作权，构成违法。

本书如需复制、引用、转载、改编时，必须得到版权所有者的许可。

如有任何疑问请与以下部门联系。联系时请尽量使用信函或传真形式。

科学出版社总编部

电话：010-64012994　传真：010-64019810

读者服务部：010-64017892　010-64000246

邮政编码：100717　地址：北京市东黄城根北街 16 号

http://www.sciencep.com

北京东方科龙图文有限公司

编辑部电话：010-82857401

促销部电话：010-82843276 转 219，220　传真：010-82842304

邮政编码：100029　地址：北京市朝阳区华严北里 11 号楼 3 层

http://www.okbook.com.cn

目　录

第一部分　电子电路初学者教室

第1章　电子电路的基础知识　1

1　半导体的性质 …… 2
2　pn结和二极管 …… 8
3　晶体管的工作原理 …… 14
4　晶体管和放大作用 …… 19
5　放大电路的基本原理 …… 25
6　偏置的思想与具体电路 …… 31
7　增益与交流负载线 …… 37
8　小信号放大电路 …… 43
9　负反馈放大电路 …… 49
10　功率放大电路的思考方法 …… 55
11　高效功率放大电路 …… 61
12　FET放大电路 …… 67

第2章　各种电子电路的基础知识　71

1　电源电路的思考方法 …… 72
2　稳压电源电路 …… 78
3　振荡电路的组成 …… 83
4　晶振及其用途 …… 89
5　晶闸管的运用 …… 95
6　多谐振荡器 …… 101
7　自制报警装置 …… 106
8　利用电子电路进行光控 …… 112
9　最基本的数字电路 …… 118
10　IC讲座(Ⅰ) …… 124
11　IC讲座(Ⅱ) …… 130
12　IC讲座(Ⅲ) …… 136

第二部分　微型机器人手工制作入门

第 1 章　工作入门的心得笔记　141

1　电路的构成 …… 142
2　塑料(丙稀树脂)材料的加工 …… 145
3　印制电路板的制作 …… 157

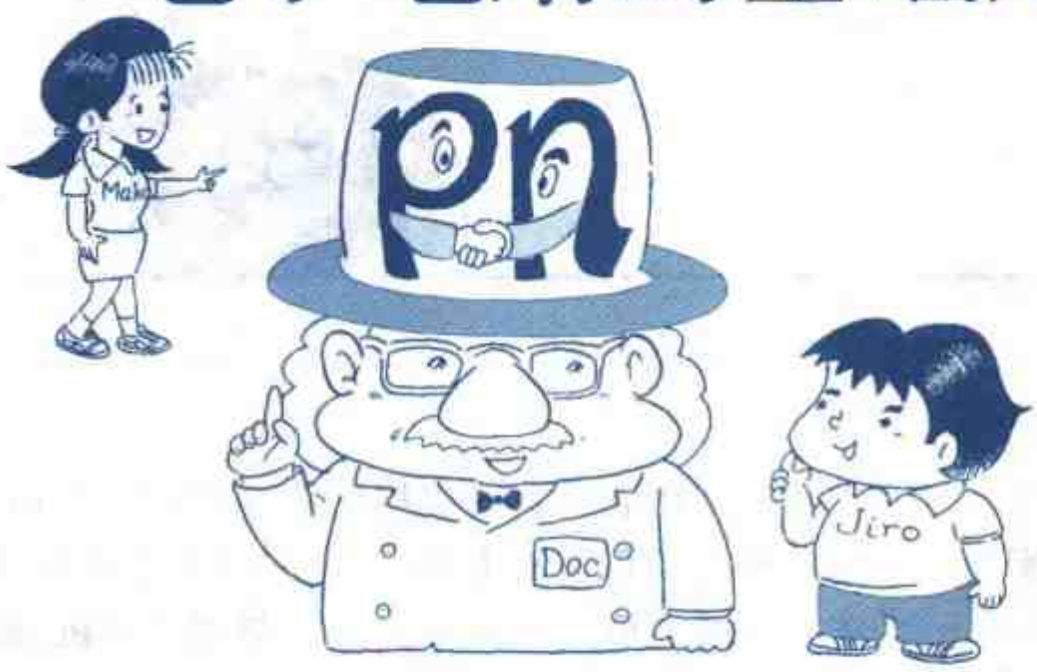
第 2 章　机器人手工制作手册　162

1　可以拐直角的线条跟踪器 …… 164
2　可以上下左右跟踪光线的跟踪机器人 …… 168
3　能运载软硬物品的工作机器人 …… 172
4　可用于各种机器人大赛的铲车 …… 176
5　躲避阴影的向阳车 …… 180
6　能写字的习字机器人 …… 184
7　能攀壁行走的自动转向车 …… 188

第一部分 电子电路初学者教室

第1章

电子电路的基础知识



本章的学习内容

在本章里，我们采用博士（Doc.）与真子（Mako）和次郎（Jiro）对话的方式，用生动活泼的形式介绍学习电子电路的结构时会遇到的一些问题，其主要内容如下：

(1) 电子是什么？它有什么功能？

(2) 在半导体中,传输电荷的载流子是电子和空穴。

(3) 采用p型和n型半导体结合的方法可以制作出二极管。那么怎样才能使二极管工作呢？

(4) 晶体管的结构及其工作原理,为理解电子电路中的最基本单元——放大电路打下基础。

(5) 放大电路根据要放大信号的大小可分为小信号放大电路和大信号(电力信号)放大电路。

(6) 为改善放大电路的性能，可采用负反馈电路。

(7) 按场效应原理工作的FET是一种怎样的器件，其工作原理如何？

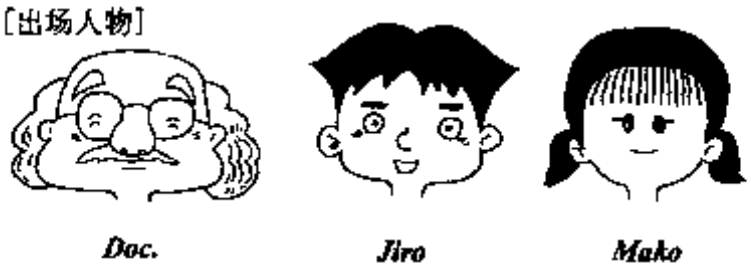
1 半导体的性质

——不稳定比稳定更有用?



在我们日常生活中使用着大量的家用电器，如汽车、电话和传真机等，在这些家用电器的机器内部都嵌有电子电路，它们在各自的机器中都发挥着人脑一样的功能。通过在电气产品中嵌入控制用计算机，就使得原来要由人完成的判断和调节等工作可以由机器来自动完成。

[出场人物]



Doc.　　*Jiro*　　*Mako*

在本书中，我们将随着出场人物一起来轻松地学习有关电子与半导体的性质、半导体器件的电特性、各种放大电路以及振荡电路等基础知识。

电子是带负电的粒子，怎样才能知道电子带有负电呢?

Jiro　在学校里听说过，电流就是电子的移动。电子带有负电，它从电源的负极向正极移动，总是与电流的方向相反，这究竟是怎么回事啊?

再说，电流方向与电子移动方向相反，这不是很麻烦吗，为什么它们不是相同的方向呢?

Doc.　在使用具体的电子电路之前，还确实有必要先了解一下电子的本质。为此，我们只要借助在真空玻璃管内插入荧光板构成的克鲁克斯(Crookes)管做一下试验就会理解这个问题了。在中学或职高的理工科实验室中都会有克鲁克斯管，希望大家一定去试一下。

如图 1 所示，实验时要利用大家熟知的感应线圈，从置有叶轮的克鲁克斯管的两端加上直流高压。克鲁克斯管内的叶轮上涂有荧光物质，叶轮能边左右旋转边移动。

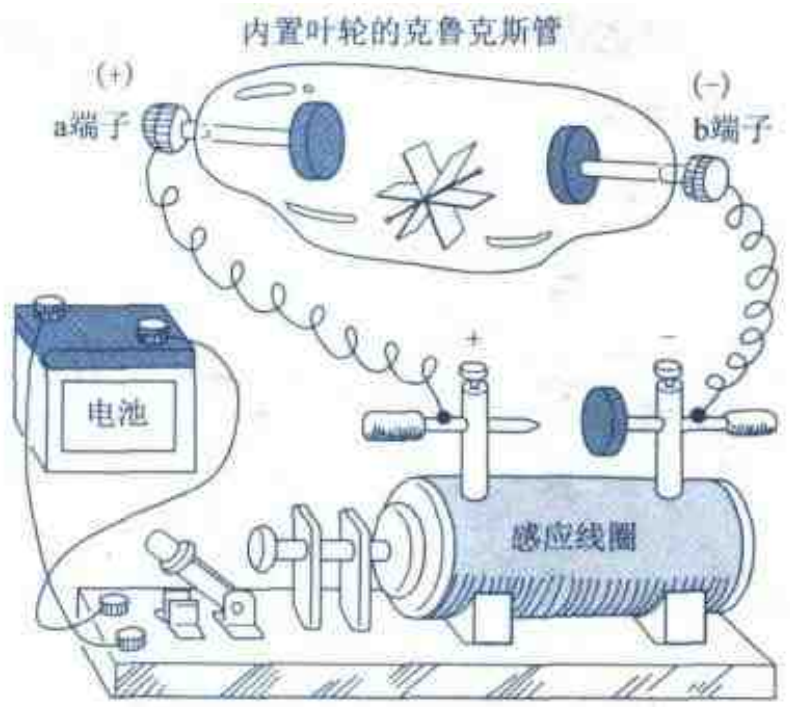


图 1　用克鲁克斯管的电子流实验装置

图 1 所示，如果将克鲁克斯管的 a 端接上电源的正极(＋)、b 端接上电源的负极(－)，那么，叶轮就会从负极向正极移动。想想看，这意味着什么呢？对了，这是因为从连接负极 b 端的电极中喷射出某种东西将叶轮向 a 端推的缘故(参见图 2)。

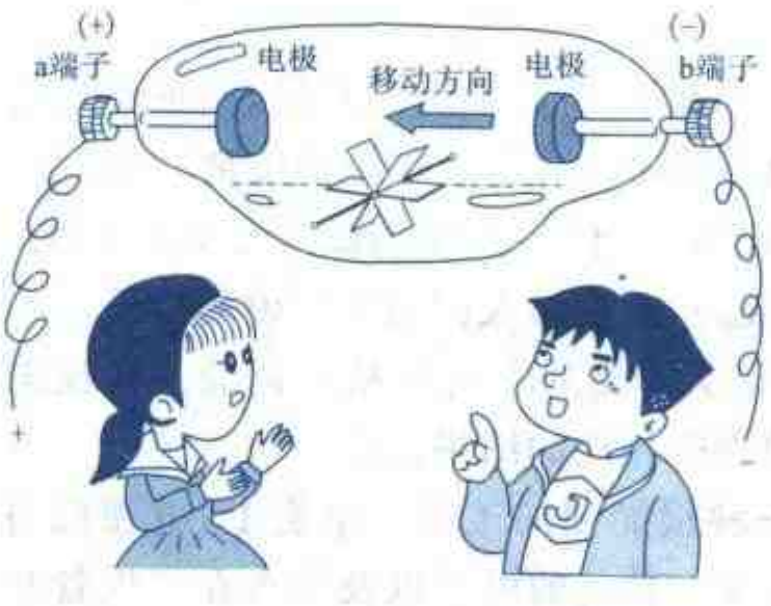


图 2



照片 1　内置叶轮的克鲁克斯管

Jiro　可以认为从 b 端向 a 端喷射出的东西就是电子吗？

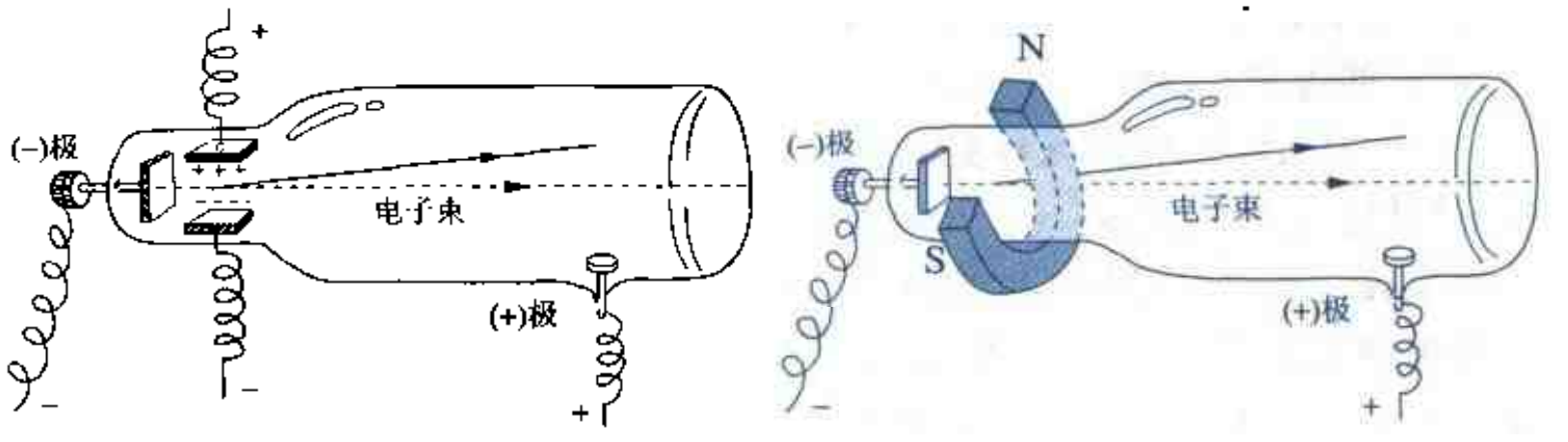
Doc.　与其说是电子，不如说成是电子束更恰当些。这样，由它们形成了电子流，也被称为**阴极射线**。

Jiro　这么说，如果将正负电极反向连接的话，叶轮就会向相反的方向移动喽！

Doc. 是的，肯定是从接负极的一端喷射出电子流，而将叶轮推向正极方向。

Jiro 噢！请您稍等一下！不错，我现在明白了从连接电源负极的克鲁克斯管的一端会发射出阴极射线，但这毕竟还不能说明它就是电子啊！

Doc. 的确，要想说明阴极射线就是电子流，还必须再做些实验才行。请看图 3。



(a) 外加电场造成阴极射线的方向偏移　　(b) 外加磁场造成阴极射线的方向偏移

图 3

正如图中所示，若在阴极射线行进的路线上加上电场或磁场，阴极射线的行进方向就会发生偏转。

上述现象说明，阴极射线是一种带负电的微小粒子流。而且，根据射线行进方向的偏移程度，我们还可以测量出粒子所带的电量 e 与粒子质量 m 之比。

不管如何更换管中的气体以及制作电极的材料，测量的结果都是相同的，这说明阴极射线是由同一种带电粒子构成的，这就是人们通常所说的**电子**。

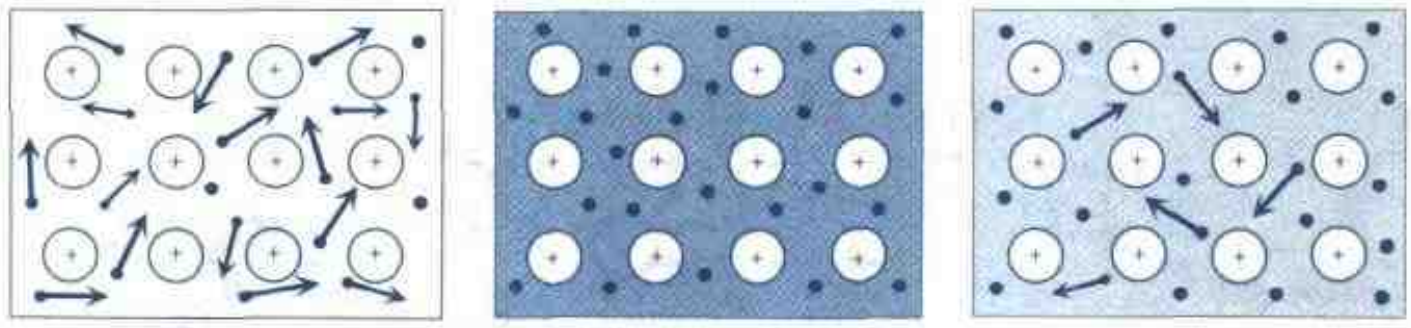
然而，在了解上述事实之前，已经规定了电流的方向是从电源的正极流向负极的，因此造成了电流方向与电子移动方向相反的结果。

要观察电子的本质，克鲁克斯管是一种很简便的工具。事实上，电视机与示波器显像管（布劳恩管）内的电子流、导线中移动的电子以及散布在二极管和晶体管内部的电子，本质上都是同样的东西。

半导体既是不良导体，也是不良绝缘体。然而它却成了电子电路的主角，确实有些不可思议。

Mako 金属之类的导体，因含有大量可以自由移动的电子，作导体使用

很方便；而橡胶和云母之类的绝缘体，因其电子几乎不能移动，是极佳的绝缘材料。相比之下，半导体虽模棱两可，在电子电路中却偏偏极为重要，这是为什么呢（参见图 4）？



(a) 导体(金属)　(b) 非导体(绝缘体)　(c) 半导体

图 4　可自由移动的电子（⟷）与不能移动的电子（•）

Doc.　导体和绝缘体的状态都是稳定的，要么电流可以很顺畅地通过，要么电流几乎完全不能通过，是“泾渭分明”的。然而，半导体的电阻率会随外界条件的变化而改变，是不稳定的。从电特性的角度来看，能够人为地产生这种不稳定的确是非常有用的。

Mako　哦！这是什么意思啊？

Doc.　我们可以打个比方来说明这些问题。有一条道路，在道路上设置有一些木桩，道路上的行人可以比作电子。如果木桩的位置都固定，那么，人们不用费事就可以很容易地通过。这就相当于导体。可是，如果道路上设有大量的木桩，且摆放得杂乱无章，要想通过就要大费周折。这就相当于绝缘体。

至于半导体，就有点像根据我们意愿设置木桩位置的道路。因此，如果过量增加木桩，道路将难以通过，而减少木桩数量就可以使通行变得容易。木桩数量及摆放位置与导体和绝缘体是不同的，虽然它处于不稳定状态，但只要按人们的意图配置木桩，就可以对通行的难易程度加以控制。

对于导体和绝缘体来说，因为物理特性决定了它们不可能实现这种控制。然而，对于锗(Ge)和硅(Si)这类制造二极管和晶体管的元素来说，却可以按照我们的意愿进行精细加工。这正是半导体大放异彩的原因。

Doc.　那么，具体地说，应该怎么做才能制作出二极管和晶体管呢？

Doc.　好，现在就将制作二极管和晶体管等器件的思路通过简单流程图的形式介绍一下（参见图 5）。

在制作二极管和晶体管等半导体器件时，首先要制作称为 p 型半导体和 n 型半导体的所谓半导体材料。半导体是一种掺入少量杂质后就会明显改变电特性的敏感材料。因此，当需要从外部有意地掺入杂质制成 n 型或 p 型半导体

时，事先必须制作出纯度极高的半导体晶体。这种纯度极高的半导体称为**本征半导体**。

硅本征半导体的单晶结构如图 5 所示。观察其中各原子的结构时，就会发现它最外层轨道上的电子（称为价电子）因与其他原子共价结合而十分稳定。

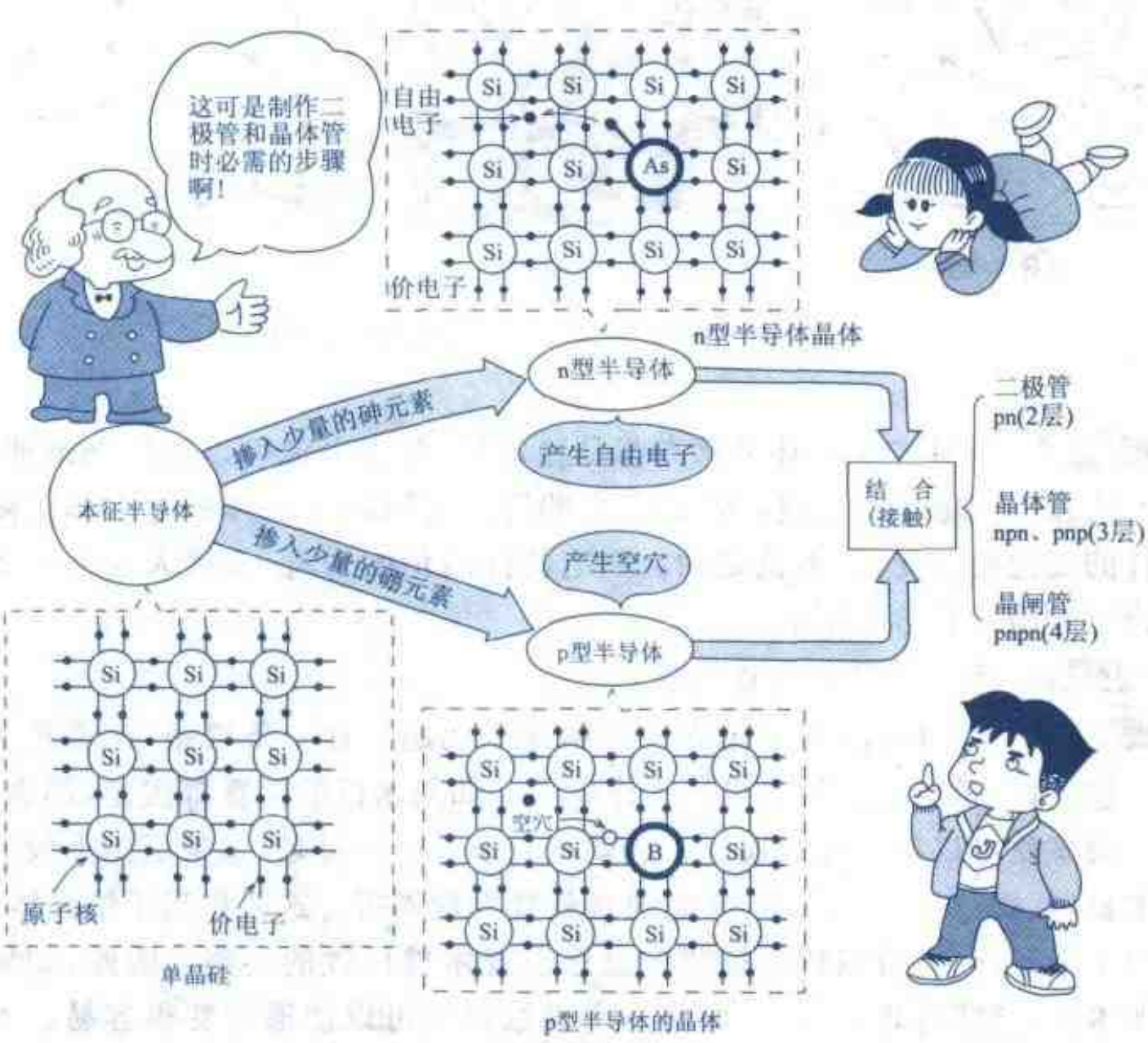


图 5 半导体元件的制作步骤

如果向这种本征半导体中加入少量的砷（As）或硼（B）元素，前者就会制成**n 型半导体**，后者则会制成**p 型半导体**。由于掺入这些“杂质”后，硅原子的共价结合将被打乱，即使在 n 型半导体中产生多余的自由电子，p 型半导体中因缺少**自由电子**而产生多余的**空穴**。

像这样有意地在本征半导体内掺入杂质制作出 n 型半导体和 p 型半导体，再通过将 n 型半导体和 p 型半导体进行结合，就可以制作出二极管和晶体管等电子器件。

自我挑战

问题　对于下列问题，请用“是/不是”做出回答。

① 在半导体中，自由电子和空穴完成电传导工作，它们是电荷的传输者，被称为载流子。

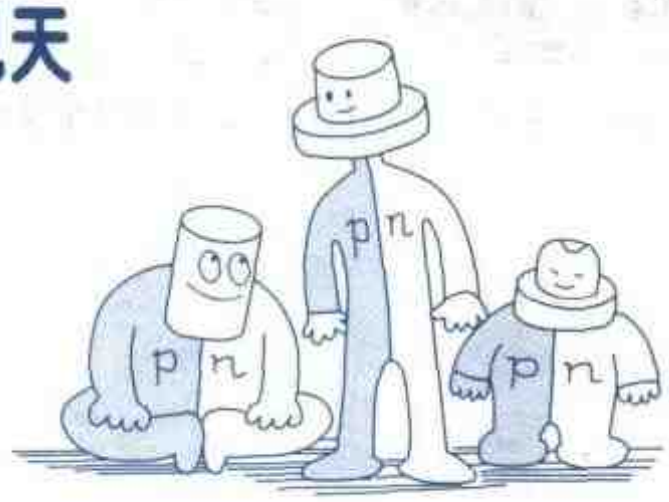
② 精制的高纯度半导体称为本征半导体。

③ 在本征半导体中，掺入少量砷等 5 价元素制成的晶体称为 p 型半导体，掺入少量硼等 3 价元素制成的晶体称为 n 型半导体。

答　①是　②是　③不是(n 型和 p 型的定义颠倒了)

2 pn结和二极管

——拨开云雾始见天





二极管、晶体管以及IC中都采用pn结，这究竟是为什么呢？

Jiro　我们知道，二极管和晶体管等与电阻、线圈以及电容等不同，具有整流和放大作用。在这些半导体器件的结构中都采用了pn结，为什么需要pn结呢？

Jiro　pn结就是在制作硅晶体时，掺入了3价原子（如硼）或5价原子（如砷），从而形成如图1所示的结构。其中，一部分形成p型半导体区域，而其余部分则形成n型半导体区域。这种p型区域和n型区域连接在一起的状态就称为pn结。

至于为什么需要采用pn结，让我们顺着下面的思路来考虑吧！

Jiro　看了图1中的pn结，有个问题我想确认一下。是不是可以这样

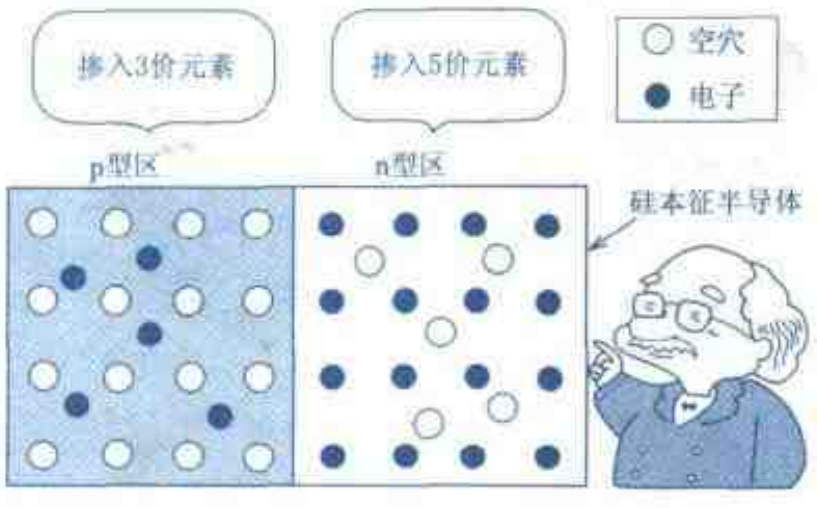


图 1　pn 结

说，在掺入了 5 价原子的 n 型半导体中，带有负电荷的自由电子数量应该比带有正电荷的空穴数量多。同样，在 p 型半导体中，空穴的数量应该比自由电子数量多。如此一来，就使得 n 型区域整体上就带负电，而 p 型区域整体上则是带有正电呢？

Doc.　噢，请稍停一下！不能根据自由电子和空穴的相对多少来决定其带电状态。事实上，从电荷角度来说，p 型区域和 n 型区域都是中性的。

在本征半导体中掺入 5 价或 3 价元素时，确实会发生自由电子和空穴的多少问题（也因此制成了 p 型和 n 型半导体）。不过，如果因为在电中性的硅晶体中掺入了也是中性的 5 价或 3 价元素就说掺杂后的晶体带正、负电就完全错了。

进一步讲，在 p 型区域和 n 型区域的接触面上，会产生自由电子和空穴的移动，从而在接触面的两端聚集起正、负电荷（产生电场），这一点是应该引起注意的。

Mako　为什么呢？

Doc.　因为从传输电荷的角度讲，自由电子和空穴都携带电荷，因此它们都被称为**载流子**（carrier）。半导体中电流的流动就是由于载流子移动引起的。

想想看，要使载流子移动应该怎么办呢？

Jiro　既然半导体中的自由电子和空穴携带电荷，那么，只要加上电场就可以吧……

Doc.　对了，如果加上电场，则在电场的作用下，空穴或自由电子就会沿电场方向或者相反方向移动了。

这种现象称为**漂移**，所形成的电流也就称为**漂移电流**（参见图 2）。

想想看，除此之外，还有什么方法能使载流子移动呢？

Doc.　哦，还有吗？

Doc.　是的，还有一种现象称为扩散现象，它正是在 pn 结接触面上发生的现象。这是指在半导体中，当存在载流子的浓度差时，会发生载流子从浓度高的地方向浓度低的地方移动的现象（参见图 3）。

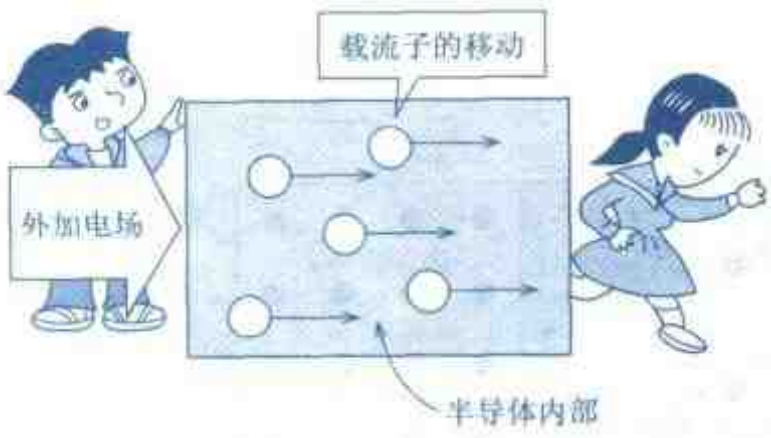


图 2　漂移产生的载流子移动

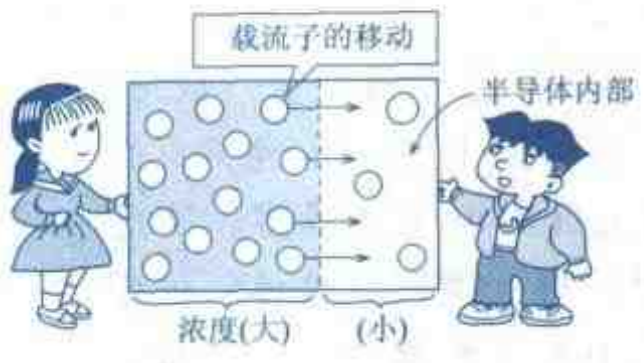


图 3　扩散产生的载流子移动

想像一下在水中滴入墨水时，墨水范围会由小变大扩展开的情形。

如图 4 所示，在 pn 结的结合面上，自由电子和空穴的浓度肯定有差别。因此，在接触面附近的自由电子和空穴就会因扩散现象而进入到对方的区域。

这种扩散的结果，如图 5 所示，在接触面的 p 型区域一侧，因空穴都向 n 型区域移动而形成了负电荷区；在接触面的 n 型区域一侧，因自由电子都向 p 型区域移动而形成了正电荷区。

Jiro　如果载流子在接触面上总是这样移动不止的话，p 型区域和 n 型区域不就完全颠倒过来了吗？

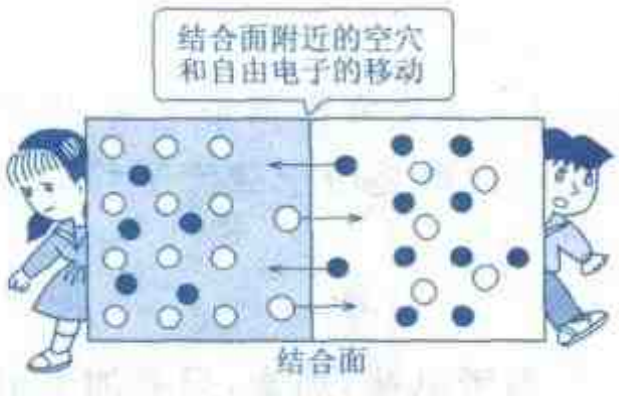


图 4　载流子的移动

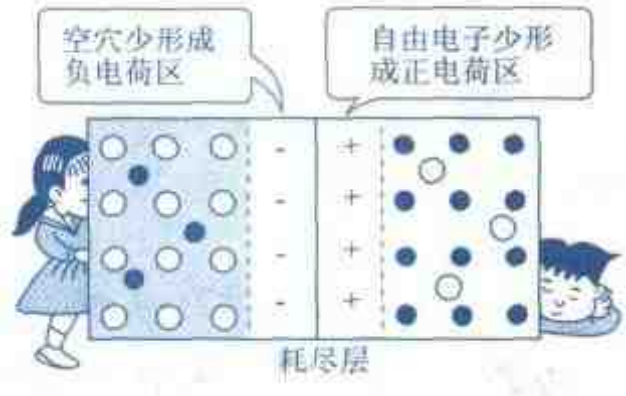


图 5　耗尽层的形成

Doc.　这倒不用担心。因为在接触面上形成的正、负电荷会导致电场的产生，面这个电场又会阻碍电子和空穴的移动，最终将保持一种平衡。产生电场的部分称为耗尽层。

因此，在耗尽层部分会产生电位差，这个电位差将阻止载流子的移动。这个电位差称为电位势垒(参见图 6)。

Mako　现在明白了为什么在 pn 结耗尽层中会产生电位势垒这个问题。不过，这对二极管或晶体管到底有什么用呢？

Doc.　好的，别着急，就要说到关键之处了。为了使形成 pn 结的半导

体中流过电流，载流子需要克服电位势垒的能量。也就是说，必须由外部给载流子提供跨越这部分电位差的能量。

在半导体器件中采用 pn 结的原因，就是由于可事先制作出这样的电位势垒，通过外加能量来控制越过此势垒的载流子数量。

换句话说，pn 结正是由于有这种电位势垒才实现了对电流的控制。

Mako　我想请您能够具体地解释一下……

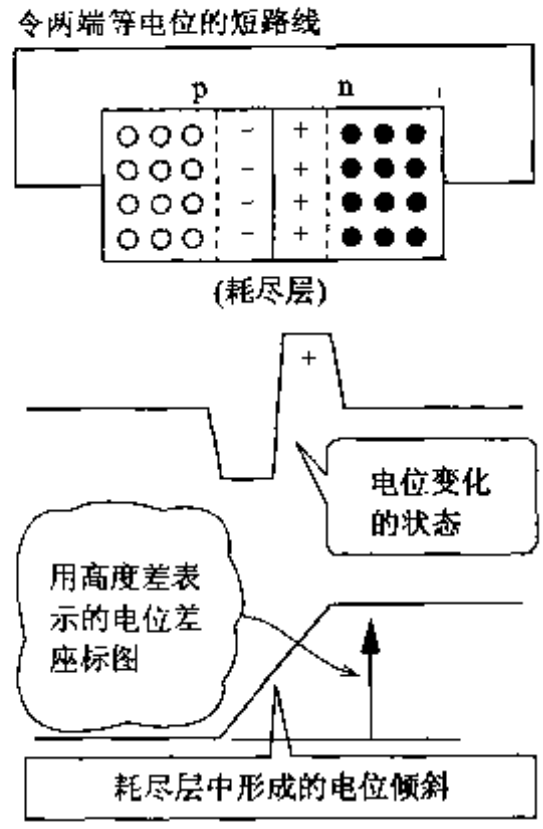


图 6　电位势垒

pn 结恰好是利用耗尽层的厚度来控制电流的，其方法是……

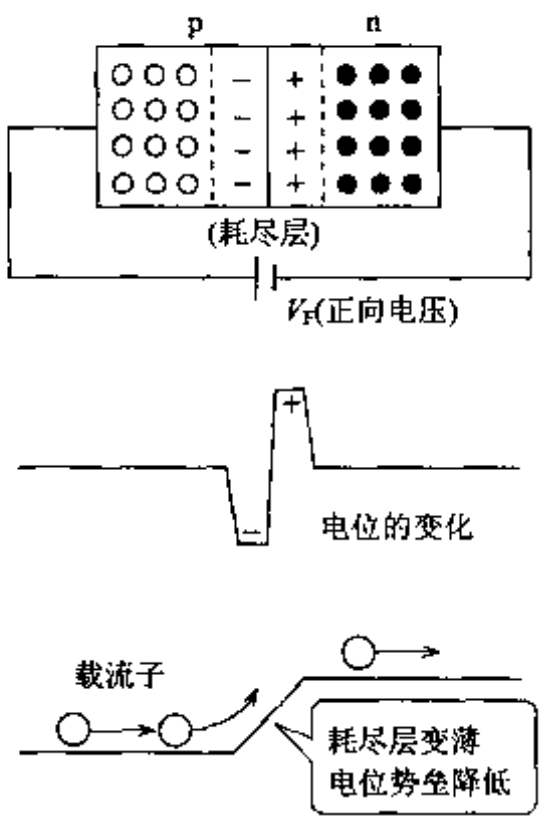


图 7　载流子移动增多

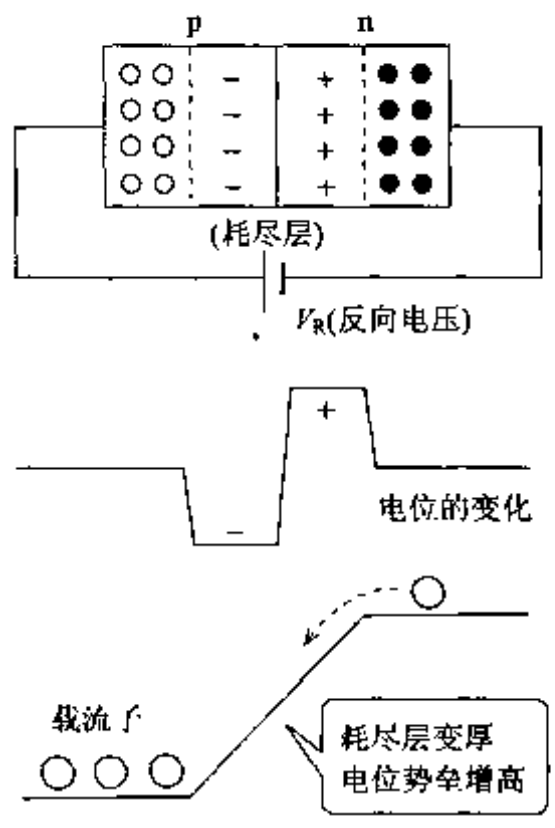


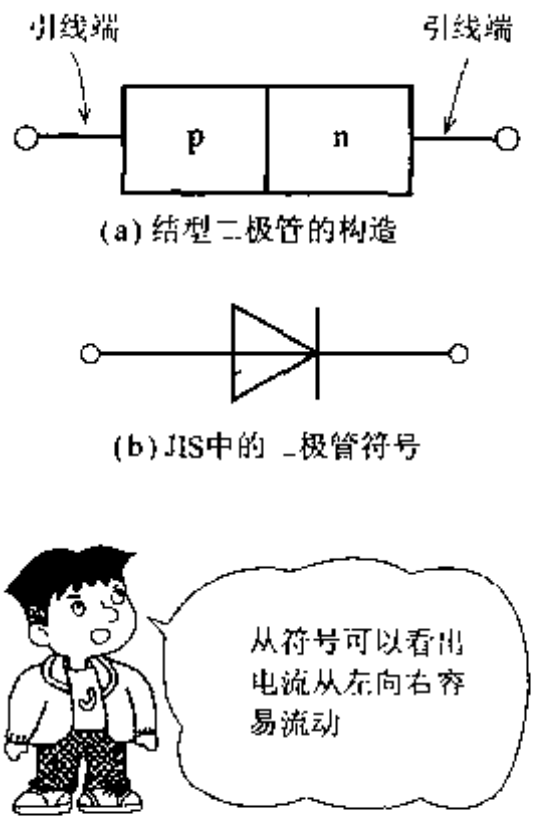
图 8　载流子移动减少

Doc.　对 pn 结来说，当从外部对 p 区施加正电压，对 n 区施加负电压时，耗尽层的宽度就会变窄，如图 7 所示，即电位势垒降低，载流子的活动将会变得活跃。也就是说，通过外加电压可以使空穴穿过接触面从 p 区进入 n 区，自由电子则从 n 区移动到 p 区。图 7 中所加的外部电压称为**正向电压**，因此而产生的电流称为**正向电流**。

图 8 与图 7 相反，施加的外部电压是 p 区为负而 n 区为正（这种电压称为**反向电压**）。此时，由于耗尽层的宽度变厚、电位势垒增高，使可移动的载流子数目变得非常少，因此只有极微小的电流（**反向电流**）通过。

正是因为 pn 结形成的电位势垒对外加电压有上述反应，故可采用 pn 结实现对电流的控制。也正因为如此，在电子电路中起电流控制作用的二极管和晶体管都采用 pn 结就很自然了。

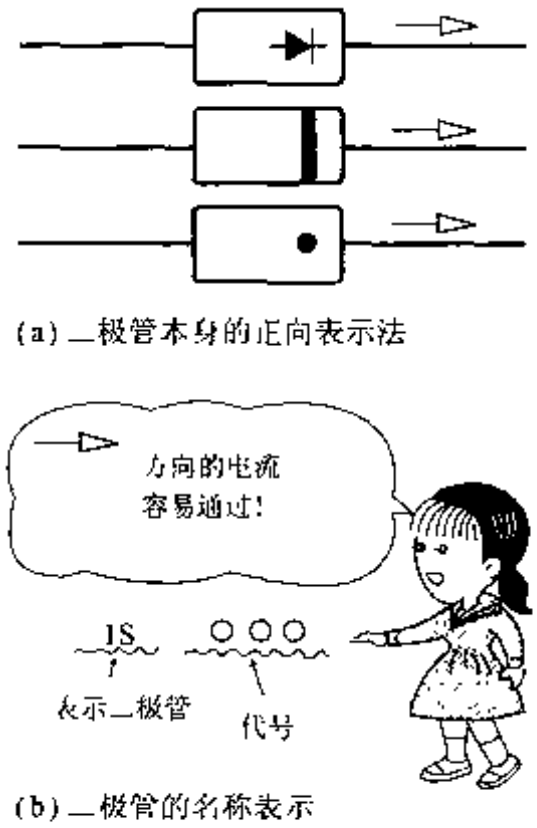
Jiro　从图 7 和图 8 来看，二极管的结构本身实质上就是 pn 结。



(a) 结型二极管的构造

(b) JIS中的 二极管符号

图 9　结构和图符



(a) 二极管本身的正向表示法

(b) 二极管的名称表示

图 10

Doc.　如图 9 所示，在 pn 结的 p 区和 n 区分别加上电极引线，就制成了结型二极管。当然，除了结型二极管之外，还有其他类型的二极管。现在，我们看一看有关二极管的一些重要特性吧（参见图 10）。

Mako　结型二极管的电压和电流不是线性关系。欧姆定律是否还适用啊？

据我所知，二极管除了可利用其整流特性外，还可以制成齐纳二极管和变

容二极管作为稳压器件使用。此外，还可以制作成光通信设备中的激光二极管，作为光源来传输大量的信息。

二极管中的电压和电流的关系不符合欧姆定律吗？

Doc. 二极管有如下的一些重要性质：

① 具有仅允许正向电流通过的整流特性。

② 电流和电压呈图 11(a)所示的关系，不适用欧姆定律。这是由于半导体的电阻率受温度等外部条件影响较大的缘故。

③ 仅施加较小的正向电压就会流过较大的电流(参见图 11(b))。

④ 增大反方向电压到某一数值时，会产生图 11(a)所示的急速增加的反向大电流。这种反向电压称为齐纳电压(又称击穿电压)。这种现象并不表示二极管被损坏，当电压减小时，二极管仍可恢复正常。

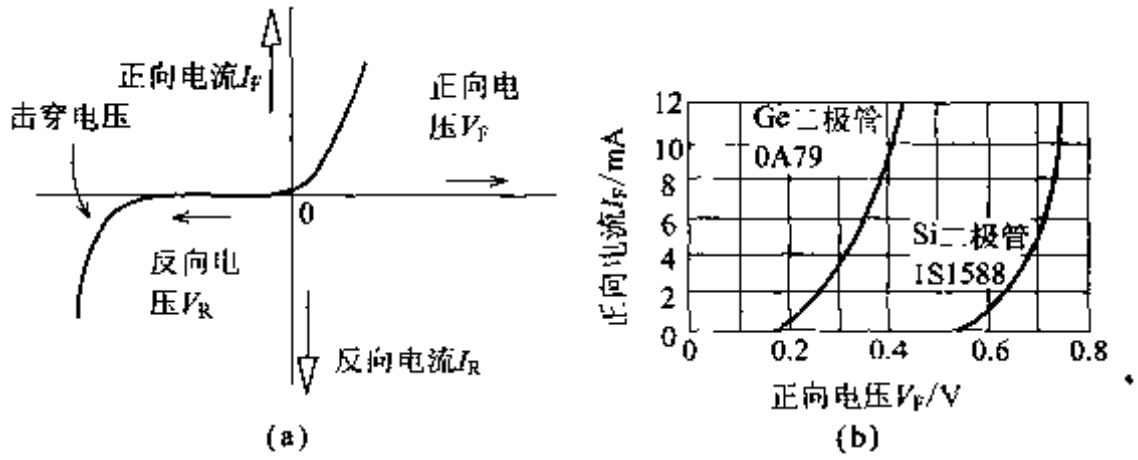


图 11　二极管的特性示例

自我挑战

问题　对于下述问题，请用“是/不是”做出回答。

① 在一个本征半导体上相邻地掺杂 p 型和 n 型杂质后制成的器件称为二极管。

② 在 pn 结上施加反向电压时，将导致载流子的移动，而施加正向电压时，几乎不会引起载流子的移动。

答　①是　②不是(施加反方向电压时电位势垒增高，几乎没有电流流过)

3 晶体管的工作原理

——半导体，导通与关断全由"正反向"来实现





在晶体管的微观世界中究竟有什么？

Jiro 我知道，在电视机和音像设备中使用了大量的晶体管。二极管的功能是整流，那晶体管的功能又是什么呢？

Doc. 晶体管的作用可多啦，主要包括放大功能和开关功能。

Mako 具体地说，它到底是做什么的呢？

Doc. 请看图 1。放大功能就是指将小电信号放大、增强，而开关功能自然是指控制某个电路中电流的流通和截止了。

好好观察一下图 1，可以想像得到吧！

Jiro 晶体管通常看起来像个小石子，而且伸出三条腿，但内部究竟是什么样的结构呢？

Doc. 将很小的晶体管拆开后，里面就会露出图 2 所示的一个小的金

属状物体，它就是半导体芯片。

从该半导体块上引出了三根电极线，这三根电极线分别对应着发射极(E)、集电极(C)和基极(B)。

此外，在半导体芯片内部是图 3 所示的 3 层结构，可用不同图形符号表示不同的结构。当然，其中的 3 层结构是不能直接用眼睛看出来的。

Mako　我们已经学过了通过 p 型和 n 型半导体结合来制作二极管的知识，要是利用 n＋p＋n 或 p＋n＋p 就可以制成晶体管了吧？

Doc.　对。只是要稍加一点补充，就是中间夹的 p 型(或 n 型)区域是很薄的一层。至于其中的原因我们以后再讨论。

Mako　看起来基极(B)对应的层更薄一些。在晶体管符号中，箭头端对应的是发射极(E)吧。

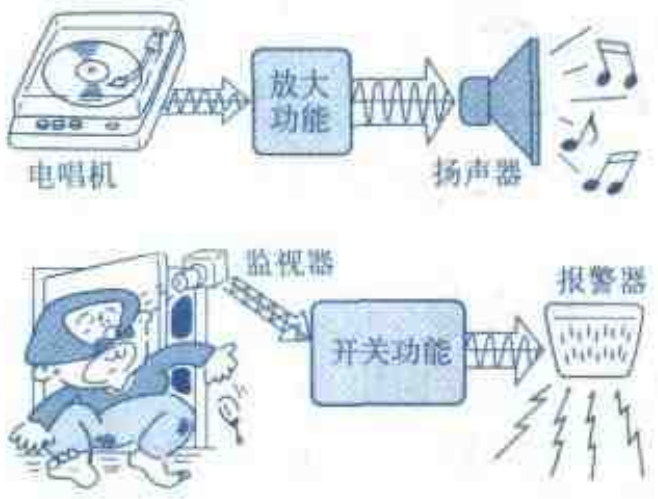


图 1　晶体管的主要功能是放大功能和开关功能

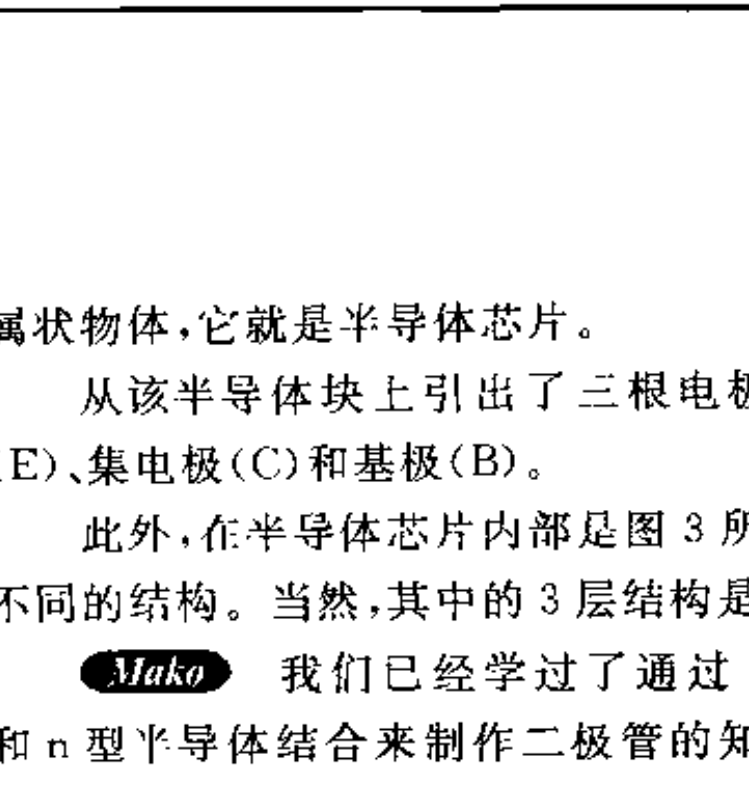


图 2　晶体管的内部

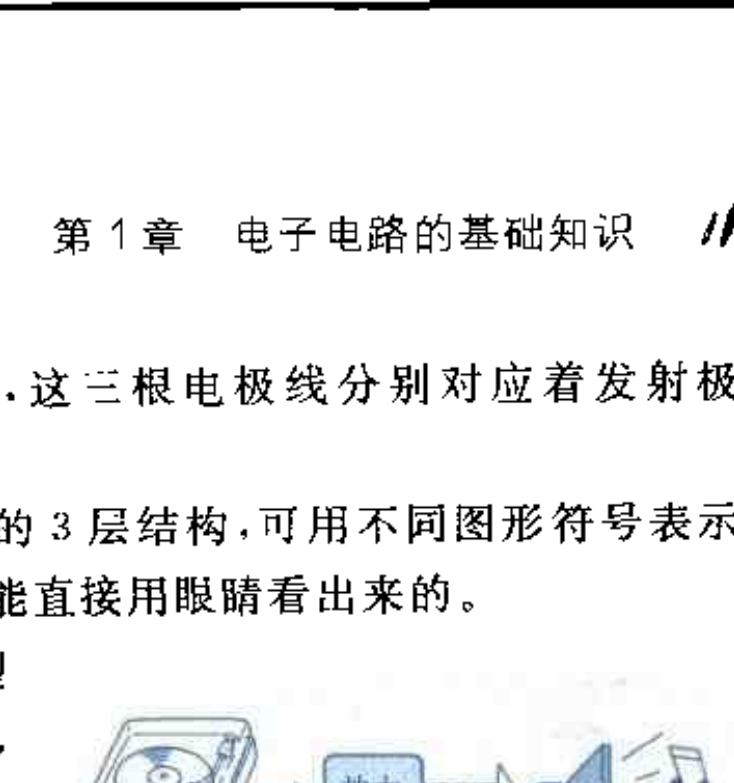


图 3　结构和图形符号

npn 型和 pnp 型的箭头方向还是相反的，那么，这个箭头表示什么呢？

Doc.　这个箭头是表示流过发射极端的电流方向。也就是说，流过 npn 型晶体管的发射极电流与流过 pnp 型晶体管的发射极电流的方向恰好相反。

教你一个记忆符号的简单方法。在地图中使用箭头表示北方，因此，如果

你记住箭头尖对应 n 区的话，就很容易地区分 npn 型或 pnp 型晶体管了（参见图 4）。

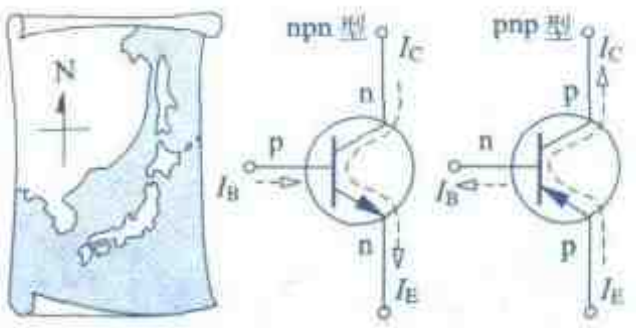


图 4　记住箭头尖对应 n 区

Jiro　晶体管的结构和符号已经明白了，不过，怎样才能实现晶体管的放大功能和开关功能呢？

Doc.　首先，在了解这些事情之前，必须先明白晶体管中流过的电流特性。

来，Jiro，先看看图 5(a)，想一想：在 pn 结的 B 端和 C 端加上电压 V_R 时，作为载流子的电子和空穴应该怎样移动。

Doc.　电子和空穴都分别被 V_R 的正极和负极吸引而无电流流过，即所加电压是反向电压。

Jiro　Mako，你来说说，图 5(b)的情形又如何呢？

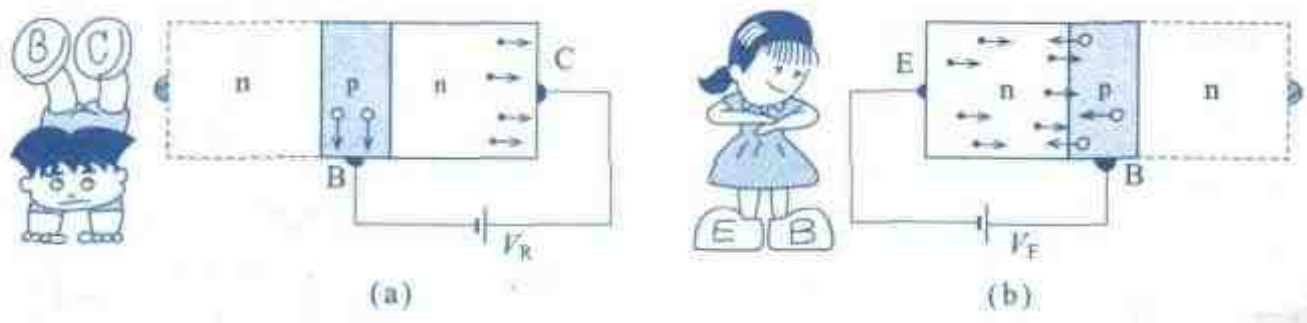


图 5　在两个 pn 结接触面上施加电压

Jiro　在这种情况下，pn 结的外加电压是正向电压，导致载流子越过接触面，从而形成电流。

Doc.　完全正确。那么，像图 6 所示那样，如果我们将图 5(a)和(b)组合起来，那应该是什么样子呢？或者说，电子应该如何移动呢？

只增加了一层，为什么会有这么大的作用呢？(n+p→n+p+n)

Jiro　噢，我明白了，这就是 n+p+n 吧？不过，感觉上好像很复杂啊！

Doc.　首先，因为在基极(B)和发射极(E)之间施加了正向电压，使得发射区中的电子流入基区，而流入到基区的电子随后又要向集电区移动。

Jiro　先生，请稍等一下！电子流入基区已经明白了，可为什么又能向

集电区移动呢？

Doc.　嗯，这问题的确非常重要，所以要仔细说一说。流入到基区的电子向集电区移动是因为扩散现象造成的。扩散就像在水中滴入一滴墨水后，周围的水就会被逐渐染黑一样。

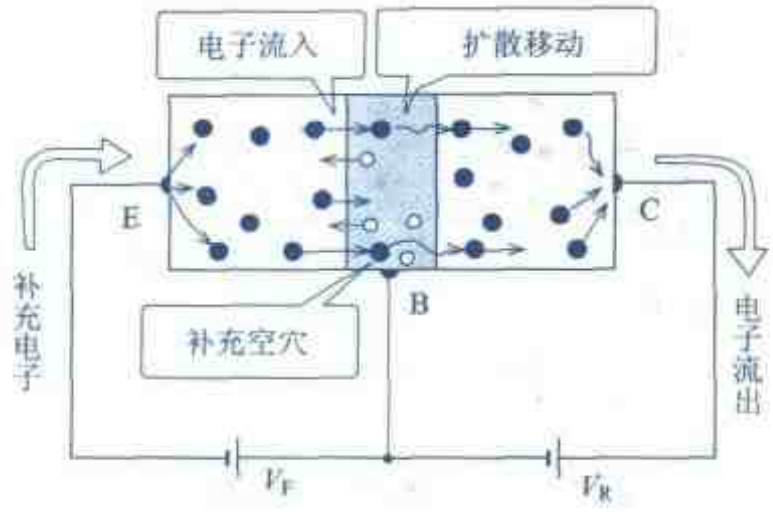


图 6　npn 型晶体管的载流子移动

当然，流入到基区的电子并不是都能扩散移动，在此途中，有一部分电子会和空穴结合而被复合掉。

Mako　被复合的电子感觉上挺可惜的，没有不让电子被复合的方法吗？

Jiro　老师，前面曾说过，基区的宽度要比集电区和发射区狭窄得多，这与电子的移动有什么关系吗？

将晶体管的基区宽度做得很窄的理由

Doc.　非常好！你们已看到了这个问题的关键所在。电子因扩散向基区移动，我们希望在基区能尽量减少与空穴复合的电子数。因此，在制作晶体管时降低了基区的杂质浓度。在降低基区空穴密度的同时，还要将基区的宽度做得很窄。

Jiro　就是这个原因，使流入到基区的大部分电子可以向集电区移动吧。

如此一来，因为集电区最初施加的反方向电压对这些电子的吸引，就形成了电路中流过的集电极电流吧？

Doc.　是的。如图 6 所示，在发射区施加的正向电压 V_F 是为了将发射区的电子辗转发送到集电区去，而集电区施加的反向电压 V_R 是为了将发射区发射的电子吸引到集电区来。

此时，为了使晶体管工作而施加的固定电压称为偏置电压。

通过图 6 和图 7 就可以总结出载流子的移动状态及电流的流向。对于 pnp 型晶体管来说，只要注意到空穴是载流子以及偏置电压的方向就行了。空穴的移动状态基本上同 npn 型晶体管的电子相同。

Mako　老师，发射区和集电区将基区夹在中间构成了对称形式啊。这样一来哪部分做发射区、哪部分做集电区不是都可以吗？

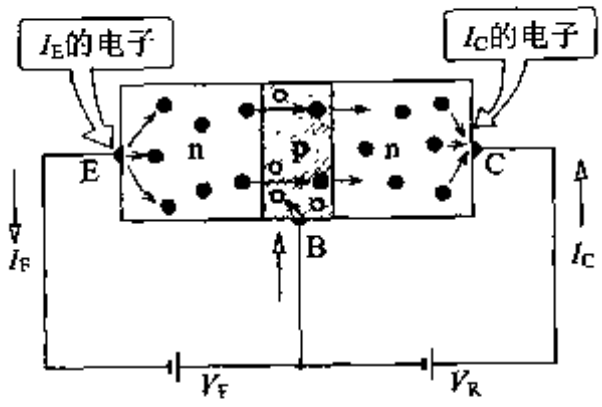


图 7 npn 型晶体管中的电流

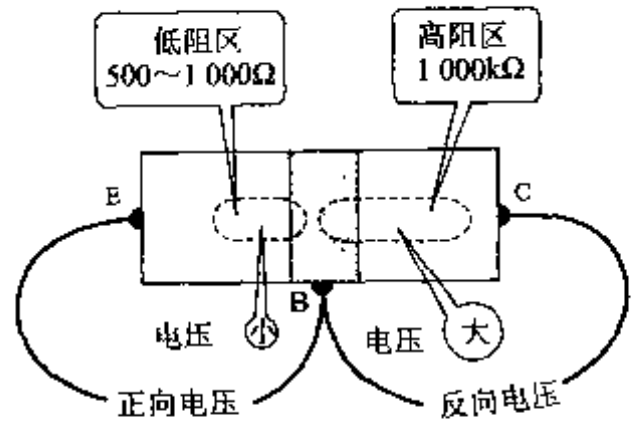


图 8 端子间的阻抗比较

Doc. 不是的。在实际的晶体管中，规定集电区和发射区中掺入杂质的浓度是有区别的，而且集电区的接触面要比发射区的接触面大一些，并不是说哪部分作发射区或集电区都行。

Jiro 我觉得晶体管发射极电流 I_E 中的极少部分形成基极电流 I_B，剩余部分才形成集电极电流 I_C，它们之间应该满足 $I_E = I_B + I_C$ 的关系。

由此看来，因为 I_C 比 I_E 略小，I_C/I_E 应小于 1，就是这个原因，使晶体管具有放大作用，是这样吧？

Jiro 通常采用符号 h_{FB} 来表示 I_C/I_E，其值大约在 0.9～0.999 左右。

稍后再详细说明晶体管的放大功能。在此大家应先记住，在图 8 中发射极与基极之间正偏电阻很小，而发射极与基极之间反偏电阻很大，这样就可以得到很大的电压比。

此外，将 h_{FE} 称为共基极直流电流放大系数，常用符号 α 表示。

自我挑战

问题 根据图 9 进行计算。

① (a)中 I_E 的数值。

② (b)中 I_E 的数值。

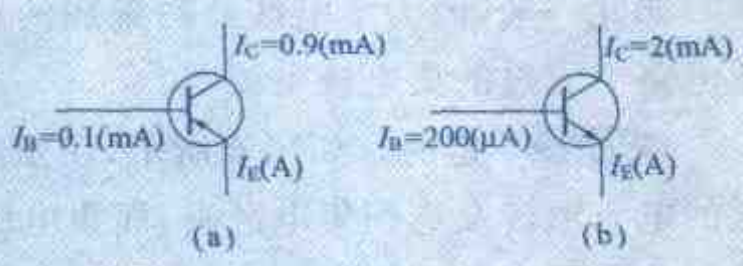


图 9

答 ① (a)中的 $I_E = 0.1 + 0.9 = 1.0$(mA)

② (b)中的 $I_E = 0.2 + 2 = 2.2$(mA)　　(200μA=0.2mA)

4 晶体管和放大作用

——使用是否得当取决于对电路的理解程度





h_{FE}和h_{fe}有什么不同？

Mako　我们已经学习了有关晶体管的工作原理，晶体管的放大作用就是由小的输入得到大的输出吧？



图 1　放大功能

Doc.　这种说法还稍微有点欠缺，应该说成用小的输入控制大的输出更为合适（参见图 1）。如果只关注晶体管的电流，就可以这样考虑，用极小的基极电流 I_B 控制大的集电极电流 I_C。通常，基极电流在数十微安（μA）至数百微安之间变化，而集电极电流 I_C 可在 1 毫安（mA）至数十毫安之间变化。Jiro，想想看，对于这种

普通的晶体管，当 I_B 的变化时 I_C 的变化比是多少？

Jiro　哦，这里面稍微有点不明白，说 I_C 是 I_B 的几倍，但这不意味着 I_B 的变化率与 I_C 的变化率是不同的吗？

Doc.　是的，现在假定基极电流 I_B 从 30μA 变化到 300μA，而集电极电流 I_C 从 0.9mA 变化到 60mA，实际计算一下看看。

Jiro　I_C 和 I_B 在下限比值为

$$\frac{I_C}{I_B}=\frac{0.9\times10^{-3}}{30\times10^{-6}}=\frac{9\times10^{-4}}{3\times10^{-5}}=30$$

而上限为

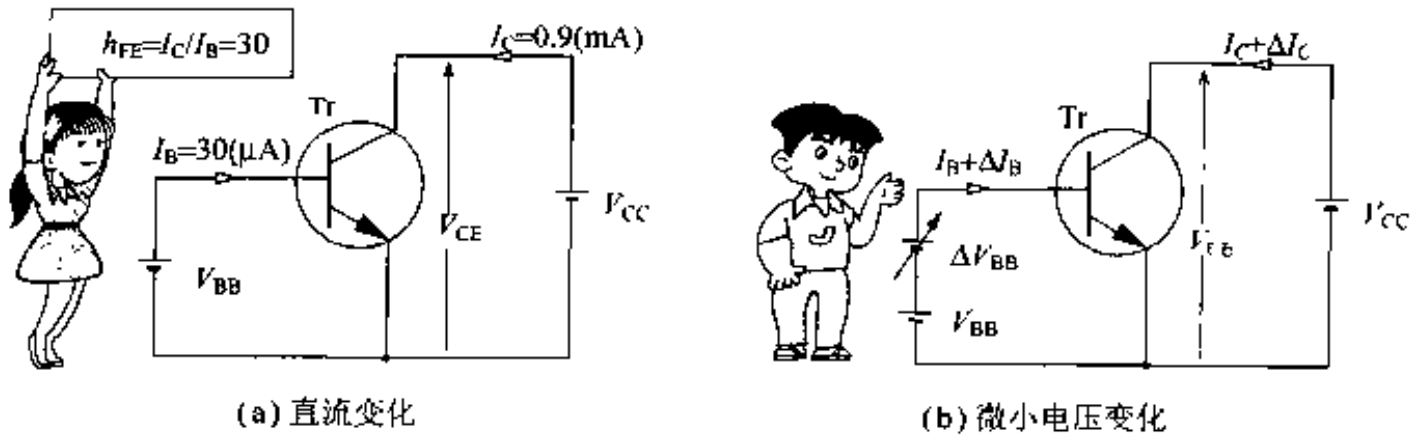
$$\frac{I_C}{I_B}=\frac{60\times10^{-3}}{300\times10^{-6}}=200$$

I_B 的变化与 I_C 的变化之比为

$$\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}=\frac{(60-0.9)\times10^{-3}}{(300-30)\times10^{-6}}\approx219$$

Doc.　在图 2(a)的电路中，用 $h_{EF}=I_C/I_B$ 表示集电极电流 I_C 和基极电流 I_B 之比，并称 h_{EF} 为直流电流放大系数。此式说明 I_B 被放大 h_{EF} 倍后构成了 I_C。Jiro 前面计算求得的值就是 h_{EF}。现在，在图 2(b)的电路中，考虑将 V_{CE} 固定并在基极串连进一个微小电压 ΔV_{BB}。当然，可以想像到此时的基极电流会产生微小的变化(ΔI_B)。假设此时集电极电流也产生微小变化 ΔI_C，那么 ΔI_B 与 ΔI_C 之比可由下式得出

$$h_{fe}=\Delta I_C/\Delta I_B$$



(a) 直流变化　　(b) 微小电压变化

图 2　电流放大作用

显然，h_{fe} 是当电流发生微小变化时的放大系数，因此也称为小信号电流放大系数。

Jiro　Δ 是微小变化的意思吗？

Doc.　是的。

Jiro　刚才我计算的 $\Delta I_C/\Delta I_B \approx 219$，如果认为 I_B 与 I_C 的范围都很大，自然谈不上微小变化了吧？

Doc.　也许大家将 I_B 和 I_C 的关系想像成直线关系，其实不然，它们通常是呈图 3 中 I_C-I_B 特性曲线所示的非直线关系，这就导致了 h_{fe} 和 h_{FE} 存在细微的差别。

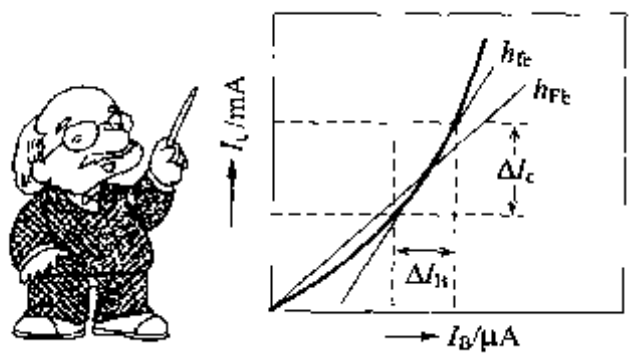


图 3　I_C I_B 特性

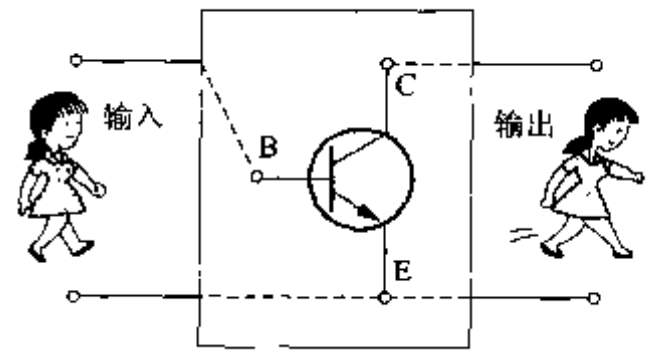


图 4　共射极方式

Mako　若是直线的话，就应该有 $h_{FE}=h_{fe}$ 了。同二极管的静态特性一样，晶体管的性质也可以采用这种静态特性进行判别吧？

Doc.　对。对于晶体管来说，除了 I_C-I_B 特性外还有 I_B-V_{BE} 特性和 I_C-V_{CE} 特性，这是晶体管的三个典型静态特性。

Mako　老师，二极管只有一个静态特性，为什么晶体管会有三个重要的特性呢？

Doc.　这是因为二极管只有正、负极两个电极，而晶体管则有三个电极，只用一个静态特性自然也就不能完全描述出晶体管的全部性质了。

此外，晶体管中输入端需要有两个端子，输出端也需要有两个端子，因此三个电极中必须有一个是输入和输出共用的。

由于通常多采用共用发射极的方法，故也称此方式为共射极方式(参见图 4)。

在图 5 和图 6 中给出了典型的共射极方式应用示例以及静态特性的测试电路。

下面，我们就来讨论这些相关内容。

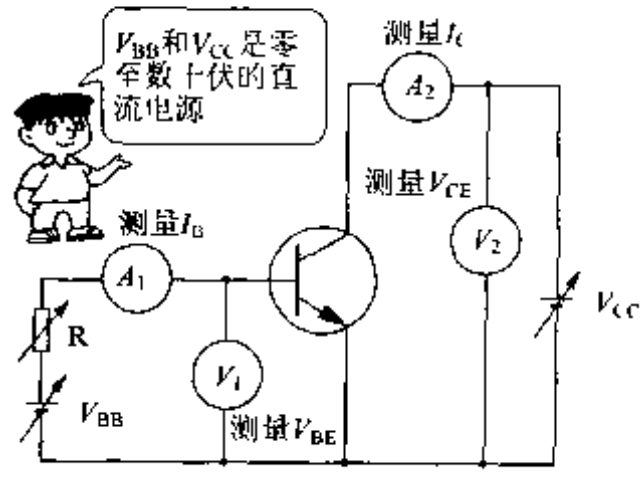


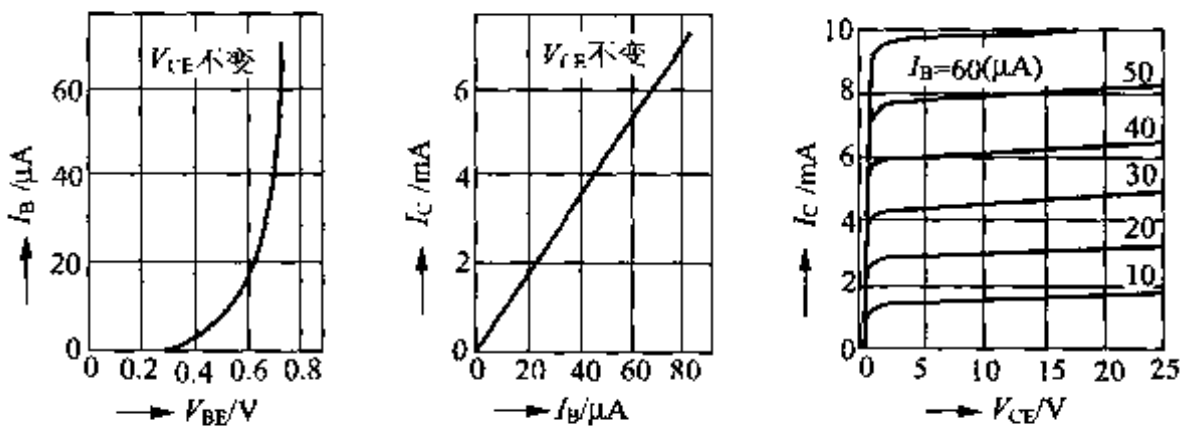
图 5　晶体管的静态特性测量电路

如何读解晶体管的静态特性?

Jiro　图 6(a)中的 I_B-V_{BE}特性怎么与二极管的特性那么相似呢！另人想起二极管的正向特性来，难道二者有什么关系吗?

- I_B V_{BE}特性(输入特性)

Doc.　不管是 npn 型还是 pnp 型，只要在基极与发射极之间施加正向电压，它的特性曲线就自然与二极管的正向特性相似。不过，开始产生基极电流 I_B 的电压 V_{BE}会因锗晶体管或硅晶体管的不同而存在一定差异。



(a) I_B-I_{BE}特性　　(b) I_C-I_E特性　　(c) I_C-I_{CE}特性

图 6　晶体管(共射极)的静态特性示例

Jiro　应该怎么使用晶体管的 I_B-V_{BE}特性曲线呢?

Doc.　仔细琢磨一下特性图就会明白，在给定 V_{BE}时，由特性曲线可以得知对应的 I_B 值。

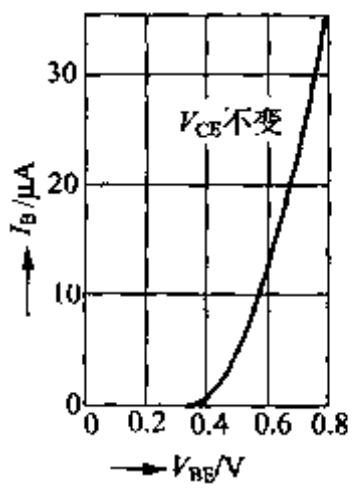


图 7　I_B-I_{BE}特性

Mako　相反，也会得到对于给定的电流 I_B 需要施加的电压值 V_{BE}。但是，若是不使用图解的方法，是不是也可以计算得出呢?

Doc.　噢，Mako，即使你很擅长计算，但要想通过计算方法得出结果也很麻烦。因为在电子电路中二极管或者晶体管都被称为非线性电子器件。

也就是说，电路中施加的电压与得到的电流不成正比。符合欧姆定律的电阻属于线性器件，因为它的电压与电流成正比，这样才可以通过计算的方法求得对应的值。但是，对于晶体管等非线性器件，通常要考虑采用图解的方式求

解。

好了，请根据图 7 给出的 I_B-V_{BE}特性曲线，求解以下各值。

例题 1

请根据图 7 的特性曲线，求解以下问题：

① V_{BE}=0.6V 时，I_B(μA)是多少？

② 为了产生 I_B=20μA 的电流，需要加上多大的电压 V_{BE}(V)？

Mako　利用图 7 的 I_B-V_{BE}特性曲线读出的相应值为：

① $I_B \approx 13(\mu A)$

② $V_{BE} \approx 0.68(V)$

Doc.　对，非常好！想必 Jiro 也理解了这种方法吧。

Jiro　关于 I_B V_{BE}特性还稍微有点疑问，它不受集电极-发射极之间的电压 V_{CE}影响吗？

Doc.　不仅 I_B-V_{BE}特性，也包括下面的 I_C-I_B 特性，几乎都不受 V_{CE}的影响。即使 V_{CE}产生变化，它们也不会产生什么变化。

• I_C-I_B 特性(电流传输特性)

Doc.　现在来看一下 I_C-I_B 特性。Jiro，请你说说看，应该怎样使用这条曲线啊？

Jiro　就像前面学过的那样，首先可以由这条曲线求得 h_{FE}和 h_{fe}的值。

Doc.　说到点子上了，还有呢？

Jiro　流过一定大小的电流 I_C 时需要有多大的 I_B，以及流过一定大小的 I_B 能产生多大的 I_C，都可以从这个特性曲线中得到。

• I_C-V_{CE}特性(输出特性)

Mako　为什么只在 I_C-V_{CE}特性中有这么多的曲线呢？

Doc.　这个特性图中的每一条曲线，都是表示先将 I_B 固定后 I_C 和 V_{CE}的关系，它会因 I_B 的变化而变化。对于任一个给定的 I_B，就会有一条变化的特性曲线。因此，该特性曲线是将一系列 I_B 对应的曲线合在一起得到的。

例题 2

利用图 6(c)的 I_C-V_{CE}特性图求解以下各值。

① V_{CE}=15V，I_B=10μA 时的 I_C(mA)

② V_{CE}=17.5V，I_B=30μA 时的 I_C(mA)。

Mako　让我来回答这个问题吧。

① $I_C \approx 1.6$(mA)

② $I_C = 8$(mA)

Duc. 到此我们已经学习了晶体管的三个基本特性曲线，在这里提一个问题。晶体管的放大作用为什么必须使用 I_B-V_{BE}特性的直线部分呢？

答案是，使用非线性部分会使波形产生畸变，通过作图法可以很容易理解这一点。

参看图 8 想一想吧。

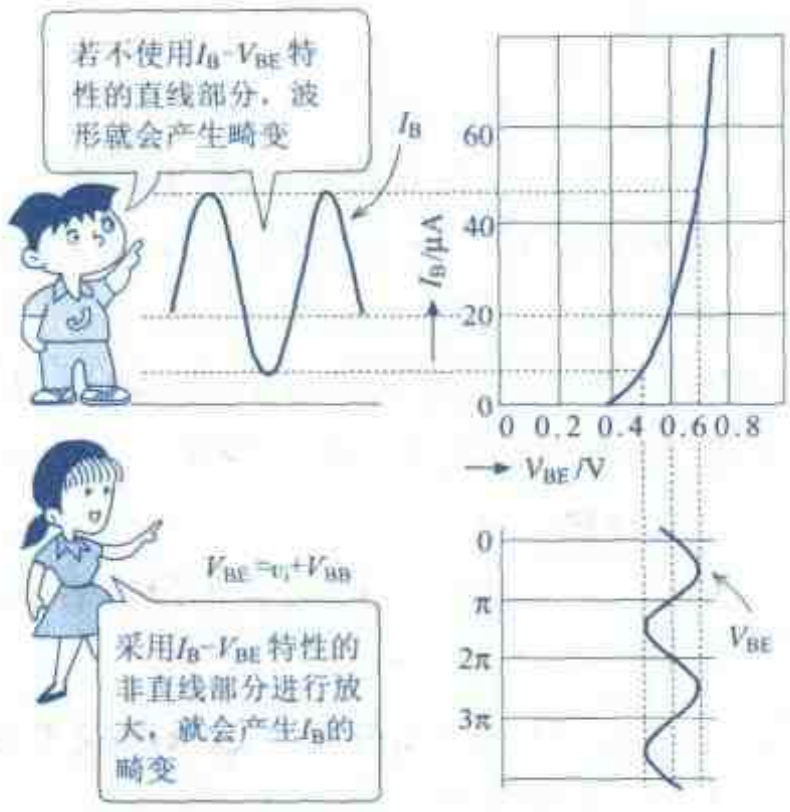


图 8 利用 I_B-I_{BE}特性非直线部分的放大

自我挑战

问题 在图 7 的 I_B-V_{BE}特性图中，V_{BE}在多少伏(V)以下 I_B 将会为 0？

答 若 V_{BE}大致在 0.4V 以下时，I_B 将会变为 0。

5 放大电路的基本原理

——有效地抓住输出





将直流和交流分开考虑会使问题变得更容易些。

Doc. 在图 1(a)的直流电路中，晶体管中的基极电流是直流电流 I_B，集电极电流是直流电流 I_C。如果在此电路的基极回路中施加一个比图 1(b)中的直流电压 V_{BB}小很多的交流电压 V_b。Mako，你能说说此时的基极电流和集电极电流有什么变化吗？

Mako 好。我觉得对应施加的交流电压 V_b，基极电流将会产生一个变化 i_b。这样一来，集电极电流自然也会根据 i_b 的变化产生一个相应的变化 i_c。

Doc. 完全正确，那么，基极和集电极各部分的电流和电压的波形又将发生怎样的变化，Jiro，请你画一下它们的波形图好吗？

Jiro 由于在图 1(b)的电路中含有直流分量和交流分量，因此，我认为

各部分的波形应该为直流分量和交流分量之和，就像图 2 画出的那样，对吗？

Doc.　画的很好。

Mako　若在晶体管的基极施加交流电压，在集电极自然也会有一个交流电流通过，这一点我明白了。但是，Jiro，尽管集电极有交流电流流过，可集电极电压的波形怎么不是交流波形呢？

如何得到输出电压

Jiro　Mako，你提出的问题是不是指在图 2 中的 i_c 是交流电流，可为什么画出的 v_c 却不是交流电压，是吧？我认为这是由于在图 1 的电路中没有画出从集电极端取出输出电压 v_c 的电阻缘故。

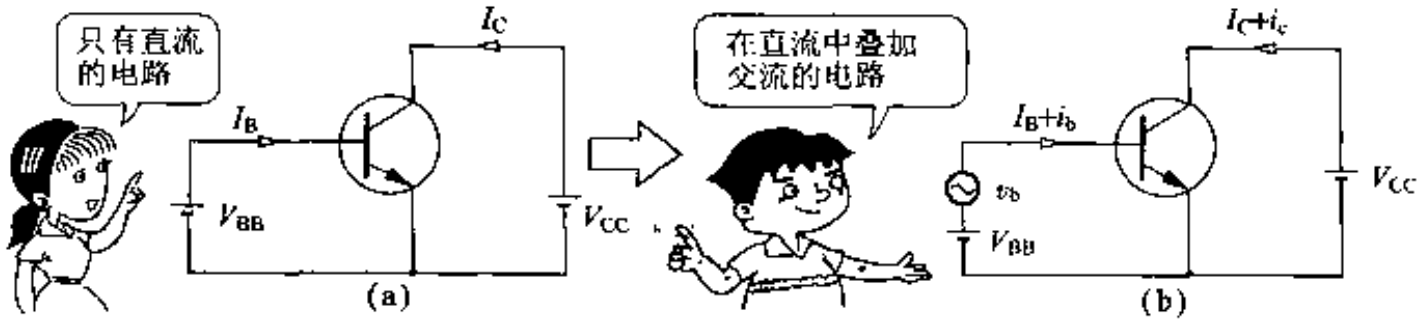


图 1　直流和交流的叠加

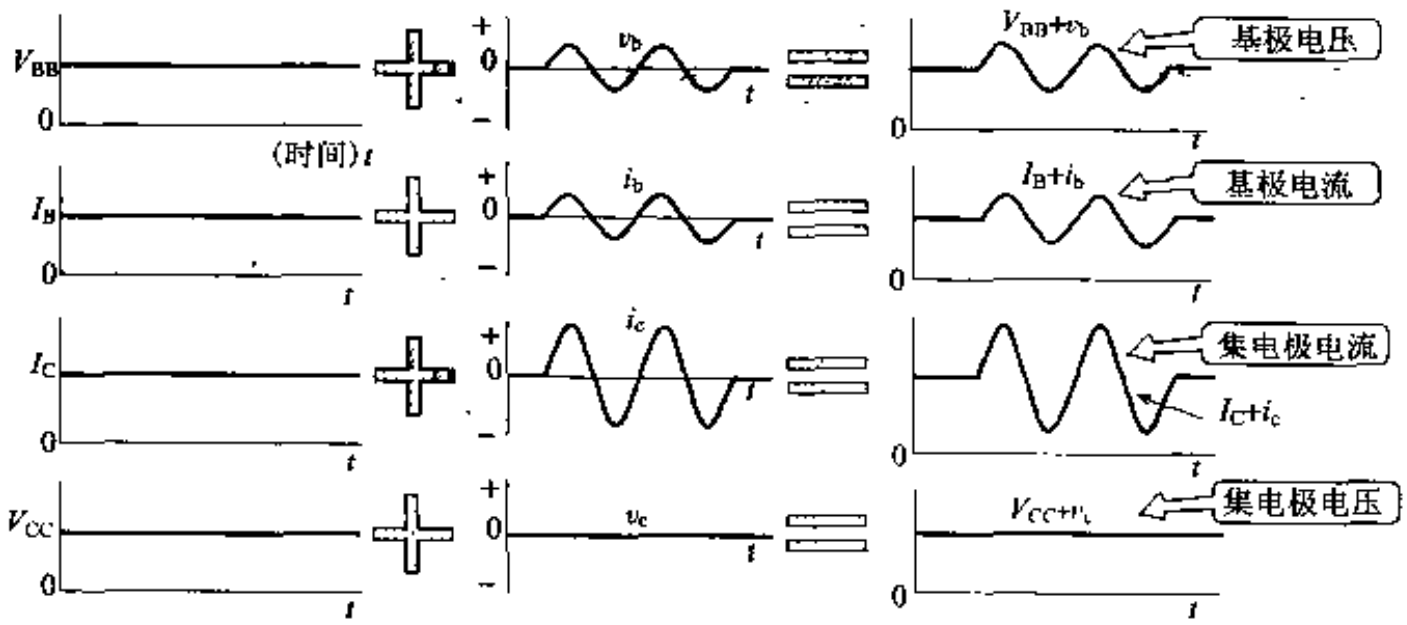


图 2　基极、集电极波形

Mako　如果接上电阻的话，v_C 就会变成交流电压吗？

Doc.　如果要在集电极取出输出的交流电压，就应该像图 3 那样接入一个电阻。如此一来，流过的电流 i_C 与 R_L 的乘积就是输出电压 v_o。由于是从 R_L 的两端取出的电压，所以得到的电压应是 v_o 而不是 v_C 了。

由于可以通过加大电阻 R_L 或加大基极上交流电压的方法来增大 v_o，因此就可以实现电压的放大功能。

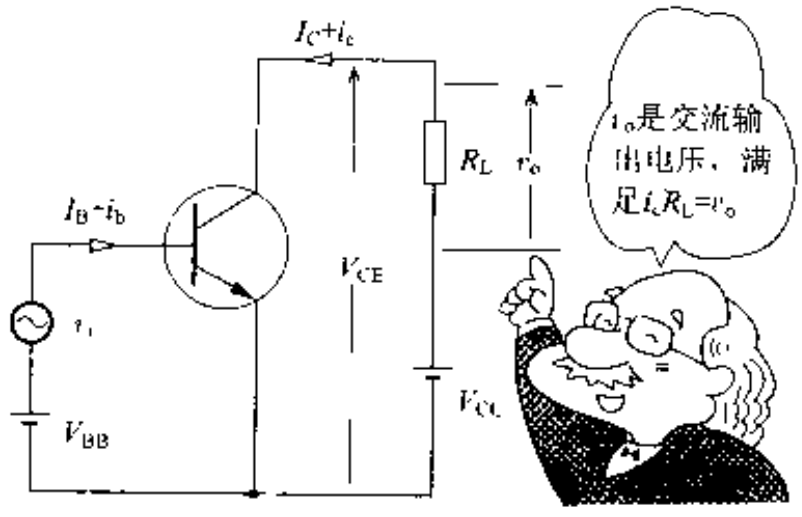


图 3　基本放大电路

刚才，Jiro 已经画出了图 2 中的各部分波形，现在来考虑一下图 3 中基本放大电路的各部分波形。在图 3 中，如果在没有施加交流输入电压 v_i，那么，晶体管中就只有直流的电压和电流，集电极电压 V_{CE} 满足 $V_{CE}=V_{CC}-I_CR_L$ 的关系。加上电压 v_i，也会继续维持这种关系。如果按图 3 的方式加入电压 v_i，用 i_c 表示集电极回路中的交流分量，则有

$V_{CE}=V_{CC}-(I_C+i_C)R_L$，于是，就输出了包含直流和交流两种分量的输出电压。

Jiro　哦，$V_{CE}=V_{CC}-I_CR_L-i_cR_L$，那么，$i_cR_L=v_o$。

直流分量　交流分量

Doc.　不错。而且，如果再来考虑一下它们的波形，就应该是如图 4 的形式。在图 4 中，V_{CE} 是集电极 发射极之间的电压，可以按 v_o 同样的方法进行处理。

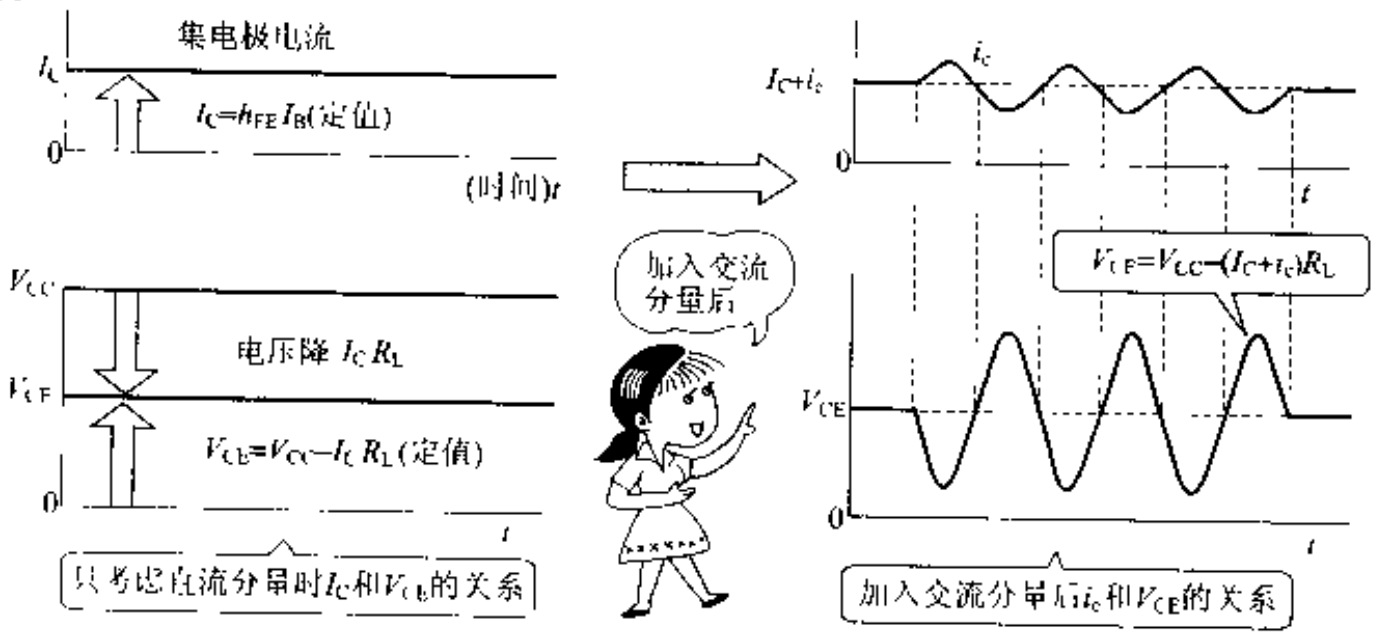


图 4　输出电压与输出电流反相

Mako 老师，当叠加进交流分量后，集电极电流 i_c 和输出电压 V_{CE} 是反相的（相差 180° 相位）。但到目前为止，v_i、i_b 和 i_c 都是同相的，为什么只有它是反相的呢？

Doc. 这可以从公式 $V_{CE}=V_{CC}-I_CR_L-i_cR_L$ 来解释。在此式中，$V_{CC}-I_CR_L$ 是固定的直流分量，但由于集电极电流 i_c 是交流分量，会有周期性变化（增大和减小），因此 V_{CE} 也会随之相应地改变。

此外，上述这些量之间满足 $V_{CE}=V_{CC}-I_CR_L$（定值）$-i_cR_L$ 的关系，因此，当 i_c 增加时，i_cR_L 就会变大，V_{CE} 相应地就会减小；相反地，i_c 减小时 i_cR_L 减小，V_{CE} 则会相应地增大。上述关系可由图 4 体现出来。

将 i_cR_L 视为输出电压 V_o 的原因

Mako 刚才老师说，输出电压 v_o 可以按图 3 以及图 4 中 V_{CE} 同样对待，这是为什么呢？

Doc. 关于这一点只要观察一下图 5 中的放大电路就会明白。其实，图中的电容 C 滤除了直流分量，在向外输出的波形中若包含直流分量将会造成麻烦。在公式 $V_{CE}=V_{CC}-I_CR_L-i_cR_L$ 中，如果滤除直流分量（$V_{CC}-I_CR_C$），自然就可以将 V_{CE} 作为 v_o 处理了。

对于晶体管来说，就像迄今学过的那样，是以直流分量为中心叠加了交流分量来工作的，这种直流电压或直流电流称为晶体管的偏置电压或偏置电流。

偏置在晶体管工作过程中的作用极其重要，如果这种偏置不恰当，就可能造成晶体管不能正常放大。下一节中再介绍有关偏置的问题。图 6 是一个简单的放大电路示例，此电路能将麦克风等输入的小信号（5mV）放大 150 倍（750mV）。我们以此电路为例，作为对以上所学习知识的复习，Jiro，Mako，请

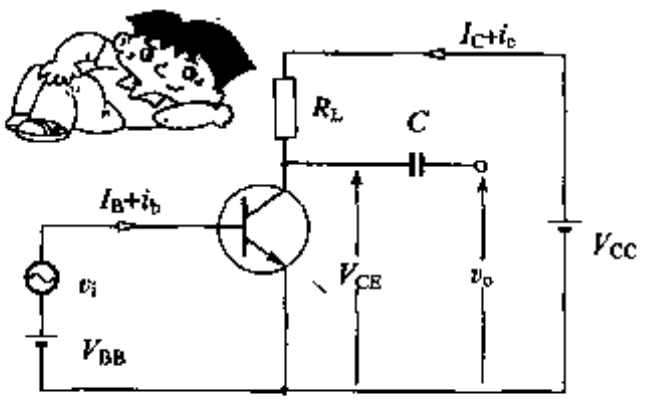


图 5 滤除 V_{CE} 的直流分量后得到

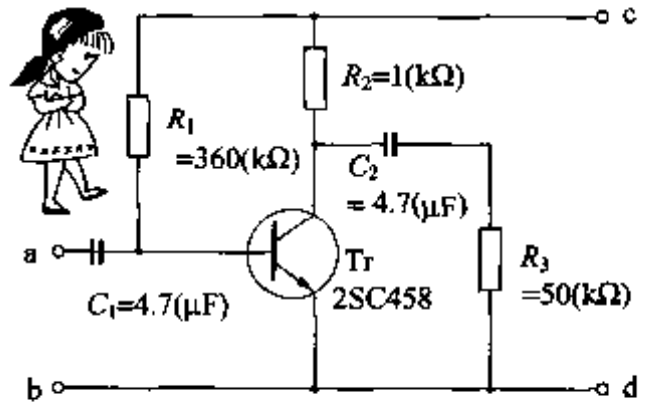


图 6 简单的放大电路

你们来回答一些问题。来，Mako，请你说说，在图 6 的电路中，将麦克风等输入的交流输入信号加在了电路的什么地方？

Mako　应该是加在端子 a-b 之间。

Doc.　对。Jiro，取出输出电压的端子又在哪呢？

Jiro　是电阻 R_3（=50kΩ）的两端。从这两端得到输出电压 v_o。

Doc.　对。那么，电容 C_2 的作用又是什么呢？

Jiro　晶体管 2SC458 的集电极-发射极之间的电压 V_{CE} 含有直流分量，为了滤除直流分量取出输出电压 v_o 设置了电容 C_2。

Jiro　是的。在图 6 的电路中，c、d 端又是为何种目的而设置的呢？

Jiro　我觉得是为了驱动电路工作加入的电源。

Doc.　不错。在此电路中，采用 $V_{CC}=9V$ 的电源电压就可以了。那么，在此电路中看不到与图 5 中 V_{BB} 相当的偏置电压，这是为什么呢？

Jiro　我认为这是因为电源电压 $V_{CC}=9V$ 通过电阻 $R_1=360k\Omega$ 给 2SC458 的基极和发射极之间加入了直流电压的缘故。

Doc.　完全正确。事实上，我们将这种偏置电路称做固定偏置电路。

应该说，在图 6 所示的电路中，如果加入 $V_i=5mV$ 的输入电压，则可以得到输出电压 $V_o=0.78V$，它们都是有效值。通常称 V_o/V_i 称为电压放大系数，这是放大电路的重要指标之一。那么，在此种情况下电压放大系数 A_v 是多少呢？

Jiro　此时的电压放大系数 A_v 是 $A_v=V_o/V_i=780/5=156$（倍）

Doc.　好的。除了电压放大系数之外，输出电流 I_o 与输入电流 I_i 之比 I_o/I_i 称为电流放大系数，用 A_i 来表示。此外，输出功率 P_o 与输出功率 P_i 之比 P_o/P_i 称为功率放大系数，用 A_P 来表示。将它们整理起来，就得到了如下的公式。

电压放大系数、电流放大系数和功率放大系数

$$A_v=\frac{V_o}{V_i},A_i=\frac{I_o}{I_i},A_P=\frac{P_o}{P_i}$$

Jiro　看起来这些式子之间有一定的关系，A_v 和 A_i 的乘积就应该是 A_P 吧？

Jiro　的确如此。请记住 $A_vA_i=A_P$ 这个关系式。

自我挑战

问题 在一个晶体管放大电路中，当加入的输入电压 $V_i=7\sin\omega t$mV 时，输出端有 $i_o=3.5\sin\omega t$mA 的电流流出。请回答下述各问：

① 假定电流放大系数 $A_i=50$，则输入端的电流 i_i(mA)可由什么样的算式来表示？

② 假定电压放大系数 $A_v=100$，则输出端的电压 V_o(mV)可由什么样的算式来表示？

③ $A_i=50$，$A_v=100$ 时，功率放大系数是多少？

答 ① 因为 $A_i=\dfrac{I_o}{I_i}$，所以 $I_i=\dfrac{I_o}{A_i}=\dfrac{\frac{3.5}{\sqrt{2}}}{50}=\dfrac{0.07}{\sqrt{2}}$，得 $i_i=0.07\sin\omega t$(mA)

② 因为 $A_v=\dfrac{V_o}{V_i}$，所以 $V_o=A_vV_i=100\times\dfrac{7}{\sqrt{2}}$，得 $V_o=700\sin\omega t$(mV)

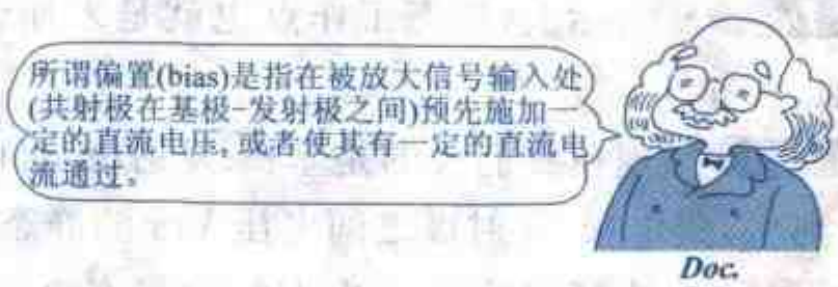
③ $A_p=A_iA_v=50\times100=5\ 000$

6 偏置的思想与具体电路

——直流是工作的关键







放大电路的工作是由负载线与特性曲线共同确定的吗?

Doc. 在晶体管电路中要处理的电压和电流通常都是如图 1 所示的叠加了直流分量和交流分量的信号。其中,直流分量的电路用来提供能量,而交流分量的电路则用于传送信息(信号)。

Doc. 既然是这样,在考虑晶体管电路时,如果将直流分量和交流分量分开来考虑,是不是能简单一些啊?

Doc. 对于晶体管电路来说这个想法很有见地。那么,Mako,你来说说看,图 1 中施加在基极-发射极之间的直流电压从何而来?

Doc. 应该是 V_{BB}。因为它是偏置电源,由此电源提供的电压当然应该叫偏置电压了。

Doc. 在图 1 中，如果在 V_{BB} 上加入输入信号电压 v_i，请你说明一下 V_{BE} 对应 V_{BB} 会发生怎样的变化。

Mako 好。V_{BE} 以 V_{BB} 为中心变化，因此，I_B 的变化应如图 2 所示。

Jiro 观察图 2 我明白了，作为变化中心的 V_{BB} 大小就称做静态工作点吧。

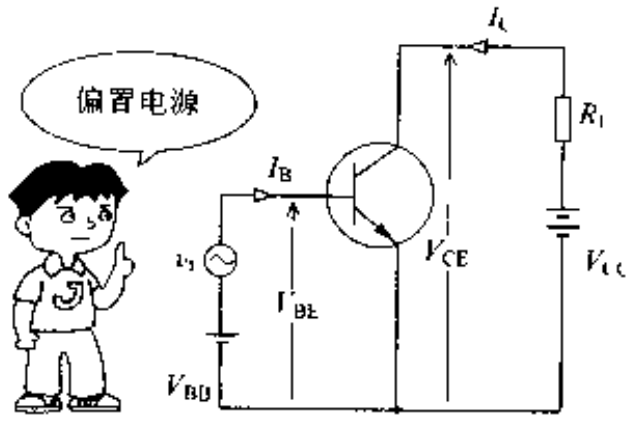


图 1 包含直流分量(提供能量)和交流分量(信号)的电路

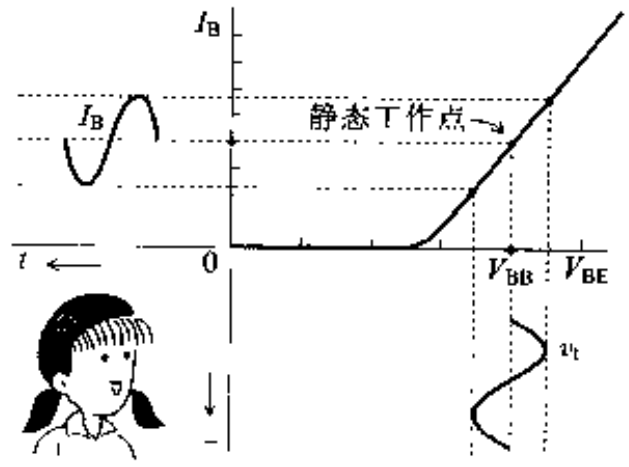


图 2 V_{BE}、I_B 的变化与静态工作点

Doc. 实际上，静态工作点也就是未加输入信号 v_i 时的直流电压值和电流值。

Jiro 现在我们说的是基极-发射极之间电压 V_{BE} 的静态工作点的确定方法，那么，集电极 发射极之间电压 V_{CE} 的静态工作点又应如何确定呢?

Doc. 为了确定图 1 中 V_{CE} 的静态工作点，首先要在 I_C-V_{CE} 特性曲线上画出一条负载线，至于负载线的画法将在下面说明。现在请你们根据这条负载线与集电极电流 I_C 来确定 V_{CE} 的静态工作点。

负载线的画法

图 1 中的集电极-发射极之间的电压 V_{CE} 满足如下关系：

$$V_{CE}=V_{CC}-I_C R_L$$

对于上述关系式，有

① $V_{CE}=0$ 时的 I_C 的值为

$$I_C=\frac{V_{CC}}{R_L}$$

② $I_C=0$ 时的 V_{CE} 的值为

$$V_{CE}=V_{CC}$$

在 I_C-V_{CE} 特性曲线上找到①和②两点，并将此两点连成一条直线就得到了负载线(也称为直流负载线，参见图 3)。

例如，在图 3 中，对应集电极电流 I_{C1} 的静态工作点就是 V_{C1}。

Mako　我想能不能根据具体的问题，请您确切地解释一下关于负载线和静态工作点的问题。

Doc.　那好，让看下面的问题。

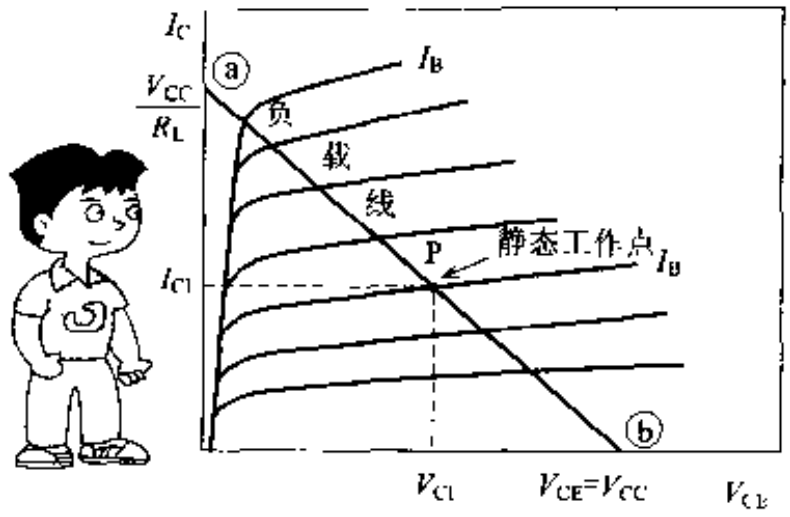


图 3　负载线

例题 1

请在图 5 的 I_C-V_{CE} 特性曲线上，画出对应图 4 晶体管放大电路的负载线。

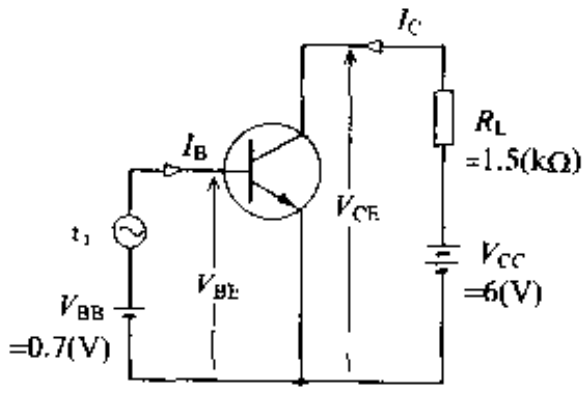


图 4

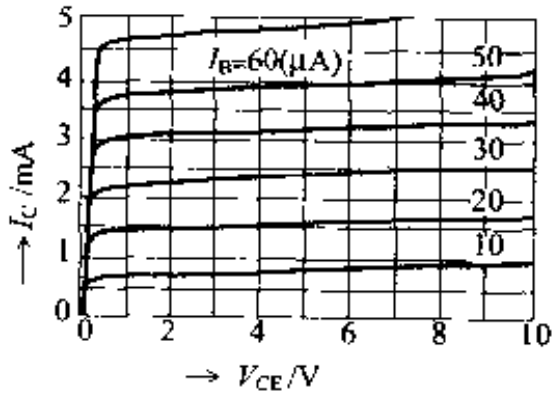


图 5

Mako　由 $V_{CC}=6\text{V}$，$R_L=1.5\text{k}\Omega$，可得

$$V_{CE}=V_{CC}-I_C R_L$$
$$=6-1\,500I_C$$

其中，当 $V_{CE}=0$ 时 $I_C=6/1\,500=0.004(\text{A})=4(\text{mA})$

此外，$I_C=0$ 时，$V_{CE}=6(\text{V})$。因此，负载线应如图 6 所示。

Doc.　对，非常好！那么，同样是关于图 4 中的电路，请再做一下下面的问题。

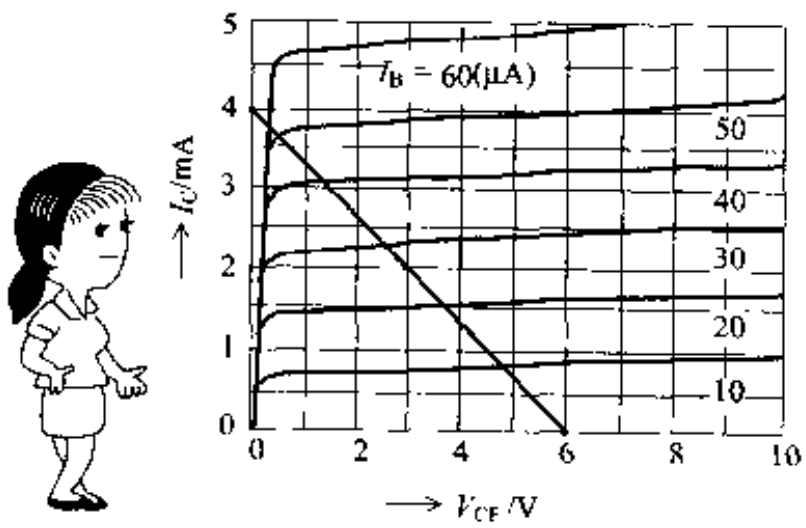


图 6

例题 2

若图 7 和图 8 分别对应图 4 电路的 I_B-V_{BE} 特性和 I_C-I_B 特性，请计算下述各值。其中的 $v_i = 50\sin\omega t\text{mV}$。

① I_B 的静态工作点

② I_C 的静态工作点

③ V_{CE} 的静态工作点

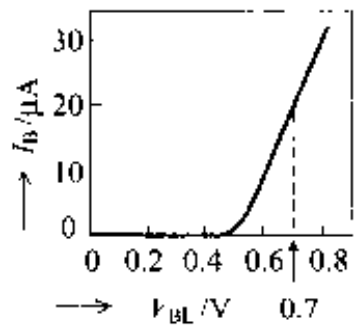


图 7

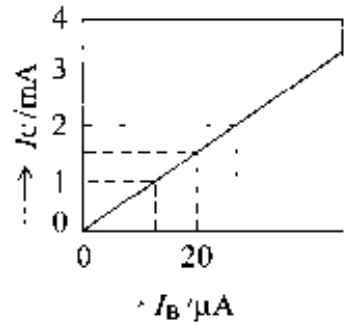


图 8

Jiro 这次让我来试试吧。

① I_B 的静态工作点可以根据图 7 的 I_B-V_{BE} 特性曲线中 $V_{BE}=0.7\text{V}$ 得出，$I_B=20\mu\text{A}$。

② I_C 的静态工作点可以根据图 8 的 I_C 特性曲线中 $I_B=20\mu\text{A}$ 得出，$I_C=1.5\text{mA}$。

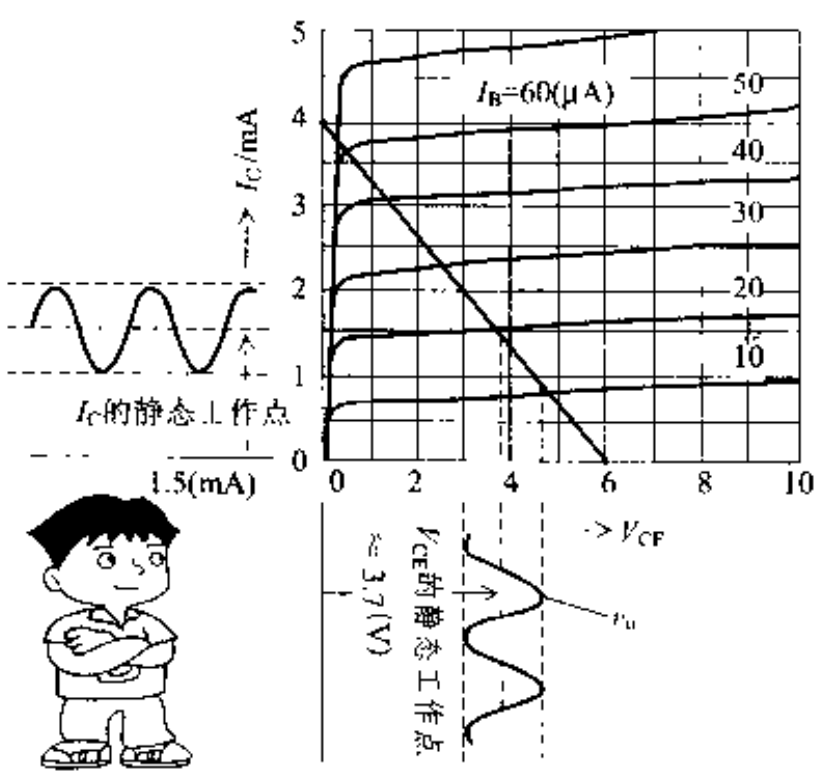


图 9

③ 在计算 V_{CE} 时要利用图 6 的负载线 I_C-V_{CE} 特性曲线。$I_B=20\mu\text{A}$ 和负载线的交点的 V_{CE} 值，如图 9 所示，为 $V_{CE}\approx 3.7\text{V}$。交流分量也可用做图的方法求得。

Doc. 由于图中已画出了 v_o 和 I_C 的波形，因此可以很容易看出其变化状态，也可以清晰地得出静态工作点。现在，我们来研究偏置方式以及典型偏置电路的工作过程。

信号增大时则减少，信号减少时则增大的电流反馈思想

Mako　前面我们所讨论的晶体管电路中，在基极和集电极上分别需要加入直流电源 V_{BB} 和 V_{CC}，那么，总需要这两个电源吗？

Doc.　那到不是，采用两个电源是很浪费的，实际的电路中都采用一个电源。也就是说，只要有 V_{CC} 就够了，偏置电压可以利用电阻将 V_{CC} 进行分压得到。

典型的偏置电路包括固定偏置电路、自偏置电路和电流反馈偏置电路。我们将重点学习最标准的电流反馈偏置电路。这部分内容请大家仔细地理解（参见图 10）。

Mako　这个电路中有很多电阻啊，不过电源倒是只有 V_{CC} 一个。这些电阻都有什么用呢？

Doc.　初看上去图 10 确实有些凌乱，让我们慢慢来。

首先，要仔细看清流经各电阻的电流通路，再有就是这些电阻上的电压和晶体管各极之间的电压。

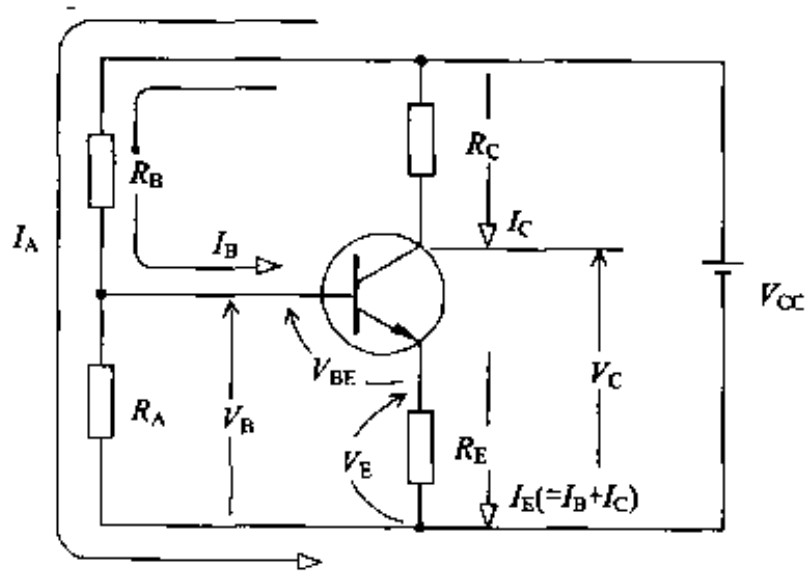


图 10　电流反馈偏置电路

电阻 R_A 和 R_B 的作用是对电源电压 V_{CC} 进行分压，故称为分压电阻。发射极电阻 R_E 是为了稳定偏置电压而设置的，故称为稳压电阻。

Mako　看来发射极电阻 R_E 很关键啊！

Doc.　是的，我们用关系式来说明这里的缘由。现在，假设流过分压电阻 R_A 上的电流 I_A 是基极电流 I_B 的 10 倍以上，R_A 两端的电压 V_B 与基极电流无关基本保持恒定。

Mako　保持 R_A 两端的电压恒定很重要吗？

Doc.　是的，其中的原因可由下式说明（参见图 10）：

$$V_{BE}=V_B-V_E=V_B-I_ER_E$$

现在，假如因某种原因导致 I_C 增加，则 I_ER_E 也会随之增加，于是导致 V_{BE} 减少。若 V_{BE} 减少则 I_B 也会随之减少，而 I_B 减少又会反过来抑制 I_C 的增加。

Jiro　V_B 是经 R_A 和 R_B 对 V_{CC} 进行分压后得到的恒定值，其结果导致 $V_{BE}=V_B-I_ER_E$ 关系呈现图 11 所示的结果。那么，电流反馈偏置电路就没什

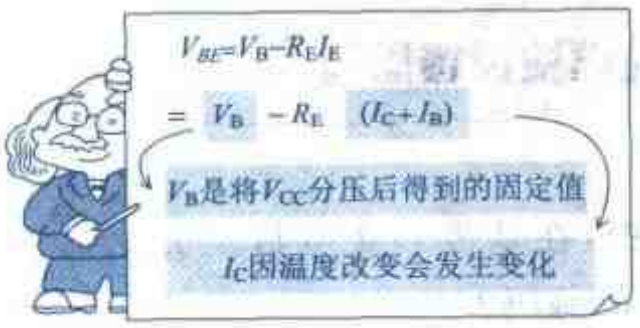


图 11

么缺点了吗？

Doc. 的确，发射极电阻越大电路的稳定性就越好，不过，如果发射极电阻太大可能会造成输出畸变，因此，保证 V_E 大约为 V_{CC} 的 10%左右就足够了。

有关电流反馈偏置电路可以结合下面的问题来加深理解。

自我挑战

问题 根据图 12 的电路回答如下问题。

① $h_{FE}=50$，$I_C=1$mA 时的 I_B 是多少？

② 参考电路中给出了各部分电流值和电压值，计算电阻 R_A、R_B 和 R_E 的大小。

其中，假定 I_A 中通过的电流为 I_B 的 10 倍。

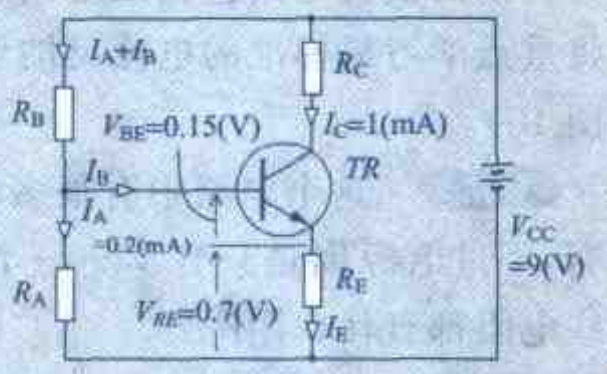


图 12

答 ① $I_B=I_C/h_{FE}=1/50=0.02$(mA)

② $R_A=\dfrac{V_{BE}+V_{BE}}{I_A}=\dfrac{0.15+0.7}{0.2\times10^{-3}}=\dfrac{0.85}{0.2\times10^{-4}}=4\ 250(\Omega)=4.25(\text{k}\Omega)$

$R_B=\dfrac{V_{CC}-0.85}{I_A+I_B}=\dfrac{9-0.85}{0.22\times10^{-4}}\approx37\ 046(\Omega)\approx37(\text{k}\Omega)$

$R_E=\dfrac{V_{BE}}{I_E}=\dfrac{V_{BE}}{I_B+I_C}=\dfrac{0.7}{1.02\times10^{-3}}\approx686(\Omega)$

7 增益与交流负载线

——负载线是交流，直流一人担





为什么采用对数表示？

Doc. 你们知道吗，通常电子电路的放大系数多采用分贝（dB：deci-bei）来表示的。

Doc. 无论功率放大系数还是电压放大系数，由于它是输入量与输出量之比，没有单位，因此仅采用“倍数”来表示不就行了吗？

Doc. 此话不错，但放大系数通常并不直接采用输入和输出之比来表示，而是表示为这个比值的对数- -分贝。为了加以区别将用分贝表示的放大系数称为增益（gain）。电子电路中经常使用的放大系数包括以下三种，请大家

记住。

电压增益：$G_v=20\lg A_v$ dB

电流增益：$G_i=20\lg A_i$ dB

功率增益：$G_p=10\lg A_p$ dB

Mako 不过，我倒觉得使用放大系数不如直接使用倍数表示更简单易懂啊！那为什么还要特意采用比的对数来表示呢？

Doc. 有这种疑问是很自然的。应该说，采用放大系数的好处有两点。首先是数值处理比较容易，其次是它更适合人的感觉，容易接受。

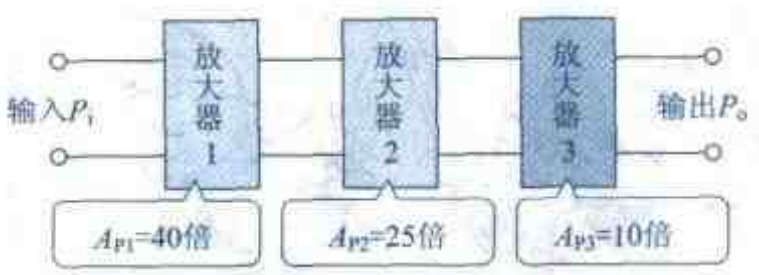


图 1

Mako 我还是不太明白……

Doc. 让我们来看一个例子，它可以说明采用放大系数时能使数值处理更容易些。如图 1 所示，这是一个由三个放大电路串连构成的三级放大电路，它的总功率放大系数 A_p 应该是多少呢？显然，总功率放大系数 A_p 应该是各级的放大系数之积。

Jiro 这样说来，应该是 $A_p=40\times25\times10=10\ 000$(倍)。

Doc. 这个数值是不是太大了？现在，让我们看一下若采用分贝(比的对数)时，数值又会是多少呢。

Jiro 应该是 $G_p=10\lg A_p=10\lg10\ 000=10\lg10^4=40\lg10=40$(dB)。

Mako 在上述计算过程中用到了 $\lg A^n=n\lg A$ 这种关系。直接用比值表示时数值是 10 000，而用对数表示时数值却只有 40(dB)，数值确是变简单了。不过，人的感觉更合适又该怎么理解呢？

Doc. 我们可以再举一个例子来说明，请看图 2。

这里，假设放大器 1 具有 10 倍的放大输出，而放大器 2 具有 20 倍的放大输出。分别使用这两个放大器，通过 CD 播放器来播放音乐，Mako，你来说说看，音乐的强度听起来能有多大差别呢？

Mako 我想，由于放大器 2 的输出比放大器 1 的输出大 10 倍，因此音乐的强度也应该是 10 倍吧。

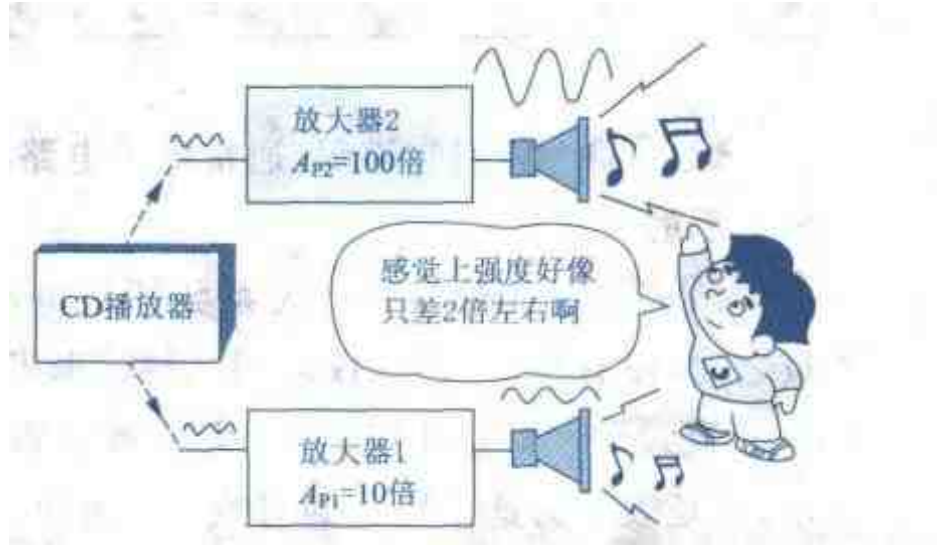


图 2

Doc.　但实际听起来却并非如此。听起来放大器 2 输出的音强只有放大器 1 输出的音强 2 倍左右。这个事实说明人的听觉与输出的对数是成正比的。

如果采用功率增益的表达式来说明，就是使用放大器 1 时，$G_p = 10\lg 10 = 10(\text{dB})$，而使用放大器 2 时，$G_p = 10\lg 100 = 10\lg 10^2 = 20(\text{dB})$，因此，增益呈 2 倍的关系。

G_p、G_i、G_v 之间的内在联系

Jiro　采用分贝表示的好处我已经明白了。只是，功率增益 G_p 是对数的 10 倍，为什么电压增益 G_v 和电流增益 G_i 却是对数的 20 倍呢？如果都是 10 倍不是更容易记忆吗，我觉得它们好像有些不一致哩。

Doc.　现在，假定电路的输入电阻和输出电阻都是 $R(\Omega)$（参见图 3），那么，功率、电压、电流和电阻 R 之间应该满足如下的关系：

$$P_i = \frac{V_i^2}{R} = I_i^2 R$$

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} = I_o^2 R$$

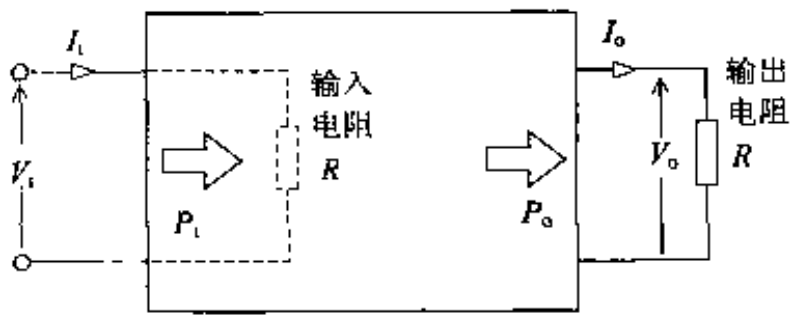


图 3

功率增益 G_p 为

$$G_p = 10\lg A_p = 10\lg \frac{P_o}{P_i}$$

这里，G_p 也可以用 V_i 和 V_o 来表示。

$$G_p = 10\lg \frac{P_o}{P_i} = 10\lg \frac{V_o^2/R}{V_i^2/R}$$

$$= 10\lg\left(\frac{V_o}{V_i}\right)^2 = 20\lg \frac{V_o}{V_i}$$

$$= 20\lg A_v$$

同样地，G_p 也可以由 I_i 和 I_o 表示。

$$G_p = 10\lg \frac{I_o^2 R}{I_i^2 R} = 20\lg A_i$$

这些关系说明，电路中的功率增益可由电压比、电流比计算出来，而采用对数的 20 倍的比率就是由此而来的。考虑到当输入电阻和输出电阻不等时也能方便地计算出增益，往往直接将 $20\lg A_v$ 称作电压增益 G_v、将 $20\lg A_i$ 称作电流增益 G_i 并直接使用。

如何画出交流负载线

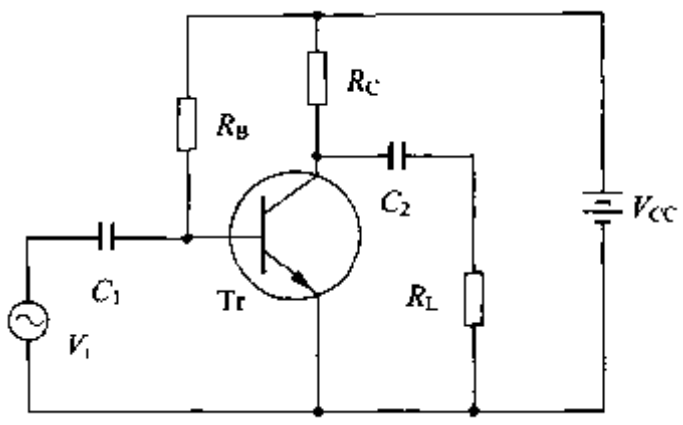


图 4

Doc. 实际的放大电路是含有交流信号和电容的交流电路(参见图 4)。

在这样的电路中,可以利用直流负载线和交流负载线这两条直线来描述电路的性能。

Mako 哦,负载线还分直流和交流负载线两种吗?

Doc. 是的。为了能画出直流负载线和交流负载线,必须将电路中的直流部分和交流部分分开。以图 4 中的集电极一侧电路为例,请画出只有直流或只有交流的通路(电路)。

Mako 由于 C_2 只允许交流信号通过而阻止直流信号通过,因此,C_2 是分离直流和交流通路的关键。

Mako 电源 V_{CC}应如何考虑好呢?

Doc. 由于 V_{CC}的内阻(内部电阻)很小,因此可以认为它对交流来说是短路的,采用这种方式处理就可以了。

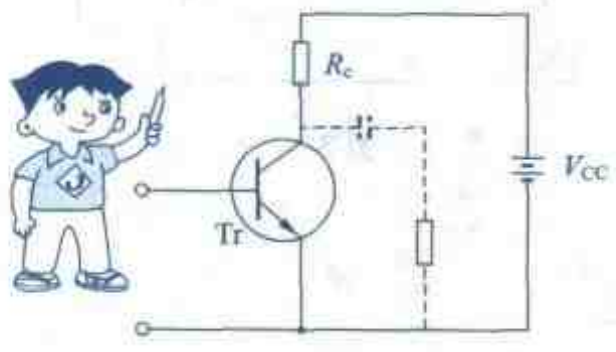


图 5 直流负载电路

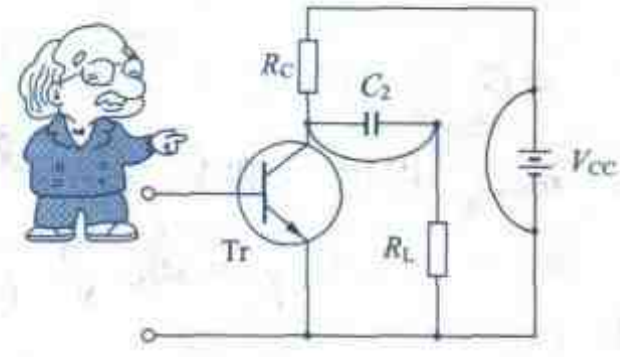


图 6 C_2 和 V_{CC}对交流导通

Doc. 我想将以上问题综合起来,就可以得到如下的结论:

① 画直流负载线时,由于 C_2 阻止直流信号通过,因此可以画成图 5 的形式;

② 画交流负载线时,由于 C_2 允许交流信号通过,并且 V_{CC}可做短路处理,因此可以画成图 6 的形式(可整理成图 7 的形式)。

Doc. 在集电极信号中,交流电流为 i_c,i_c 对应的交流电阻 R_{AC}为 :

$$R_{AC}=\frac{R_C R_L}{R_C+R_L}$$

那么，大家就知道应该怎样来画交流负载线了。

例题 1

假设在图 4 的电路中，$R_C=4k\Omega$、$R_L=6k\Omega$、$V_{CC}=6V$，请画出直流负载线和交流负载线。

Jiro　直流负载线可以根据图 5 中给出的 $R_C=4k\Omega$、$V_{CC}=6V$ 来画。

由于 $V_{CE}=6-I_C\times4\times10^3$，因此，当 $I_C=0$ 时，$V_{CE}=6V$。

再由 $V_{CE}=0$ 时，$I_C=1.5mA$，就可以画出图 8 所示的直流负载线(参见图 8)。

Dac.　请根据直流负载线确定出静态工作点。

Jiro　我知道静态工作点位于直流负载线中间部位，即 $I_C=0.75mA$ ($V_{CE}=3V$)。不过，接下来还应怎么做呢？

Dac.　静态工作点确定下来后，可以按下面的步骤画出交流负载线：

① 代入图 7 中给出的 R_C 和 R_L 值，求出交流电阻 R_{AC}；

② 将直流负载线的静态工作点 P，沿垂线方向上移一个任意的集电极电流值 i_c(不超过直流负载线的电流范围)后，再向左平移 $R_{AC}\times i_c$(V)，就得到了 Q 点。

③ 连接 P、Q 两点并延长至 I_C 轴和 V_{CE} 轴相交，此直线即为交流负载线。

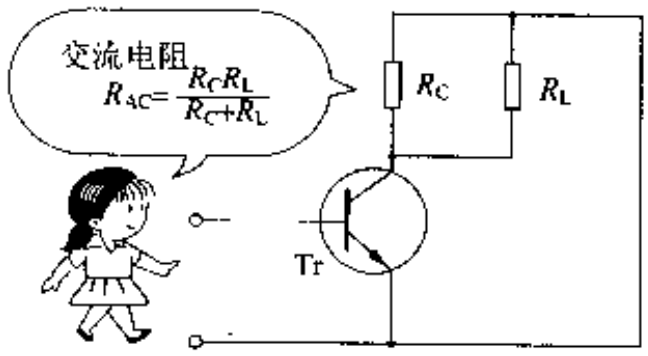


图 7　交流负载的电路

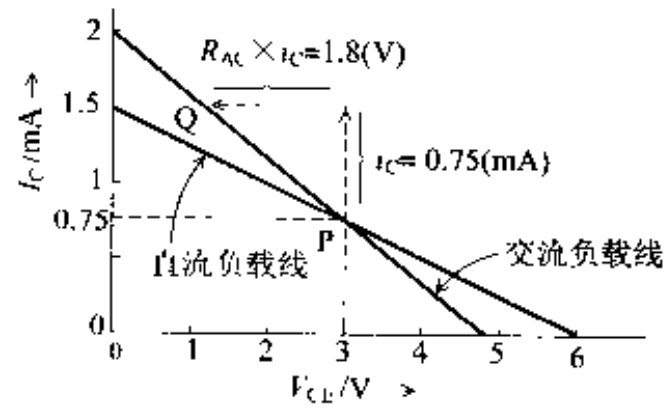


图 8　直流负载线和交流负载线

Jiro　让我来画一下看看。

① 交流电阻 $R_{AC}=\frac{4\times6}{4+6}=2.4(k\Omega)$。

② 假设 $i_c=0.75mA$，从静态工作点 P 沿垂直方向移动 i_c，再根据 $R_{AC}\times i_c=2.4\times10^3\times0.73\times10^{-3}=1.8(V)$向左平移就得到 Q 点。

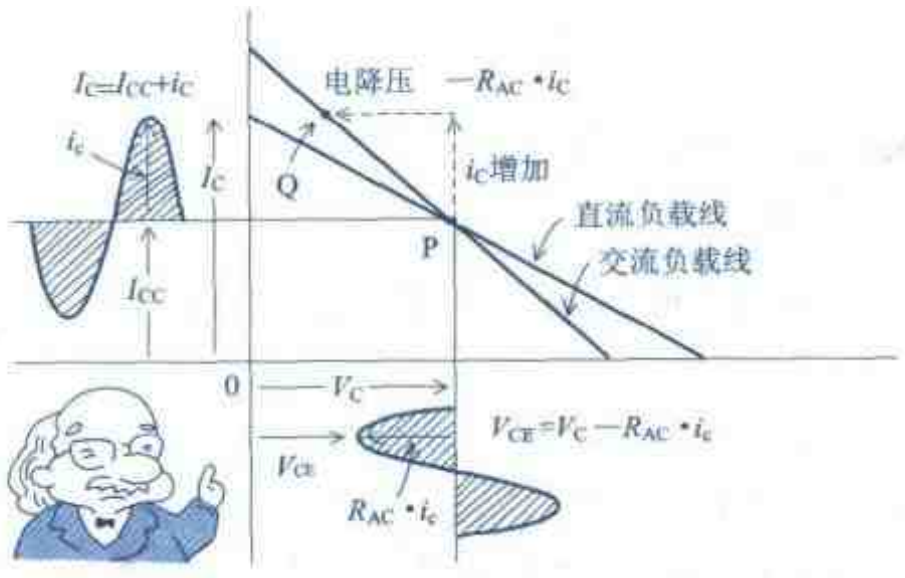


图 9 i_c 增加则电压下降

③ 连接 P、Q 点并延长至坐标轴(参见图 8)。

Mako 上述步骤已经明白了，只不过要在垂直方向移动任意的 i_c 距离，然后还要向左平移 $R_{AC}\times i_c$ 距离，这些步骤的含义是什么呢?

Doc. 我们借助图 9 来说明一下。当输入信号为 0 时，集电极电流就等于静态工作点的直流电流 I_{CC}(mA)。加上输入信号后，信号中的 i_c(mA)分量将产生 $R_{AC}\times i_c$(V)的压降。假设只增加集电极电流的交流分量 i_c(mA)，那么集电极电流 I_C 还应满足 $I_C=I_{CC}+i_c$(mA)，而 $V_{CE}=V_C-R_{AC}\times i_c$(V)。当电流 i_c(mA)增加时，意味着 P 点在图上应沿着垂直方向移动，而 $R_{AC}\times i_c$(V)的压降意味着 P 点还应向左平移，这样就可以确定出 Q 点。当然，通过此 Q 点与静态工作点 P 的直线就是交流负载线了。有关交流负载线的应用问题，我们将在下一节中讨论。

自我挑战

问题 假定在图 4 的电路中，$R_C=1.2\text{k}\Omega$，$R_L=6.8\text{k}\Omega$，$V_{CC}=10\text{V}$，请回答下述问题：

① 对直流的负载 R_{DC}

② 对交流的负载 R_{AC}

答 ① $R_{DC}=R_C=1.2(\text{k}\Omega)$ ② $R_{AC}=\dfrac{1.2\times6.8}{1.2+6.8}=1.02(\text{k}\Omega)$。

8 小信号放大电路
——利用作图法进行计算





放大什么样的信号时要使用 RC 耦合

Doc.　这次我们来研究有关小信号的放大电路。那么，你们先说说，小信号是什么样的信号啊？

Mako　我想就是从麦克风和 CD 机等得到的信号吧。这种信号是不能直接驱动扬声器发声的。

Doc.　在电子电路中，放大振幅很小的信号的电路称为小信号放大电路。

Mako　振幅小是不是意味着利用一个晶体管来放大是不够的啊？

Doc.　是的。在小信号放大电路中只靠一个晶体管确实不能得到足够的增益，通常要使用多个晶体管来反复放大，这种电路也称为多级放大电路。

Doc.　那么，这些晶体管之间应如何连接呢？

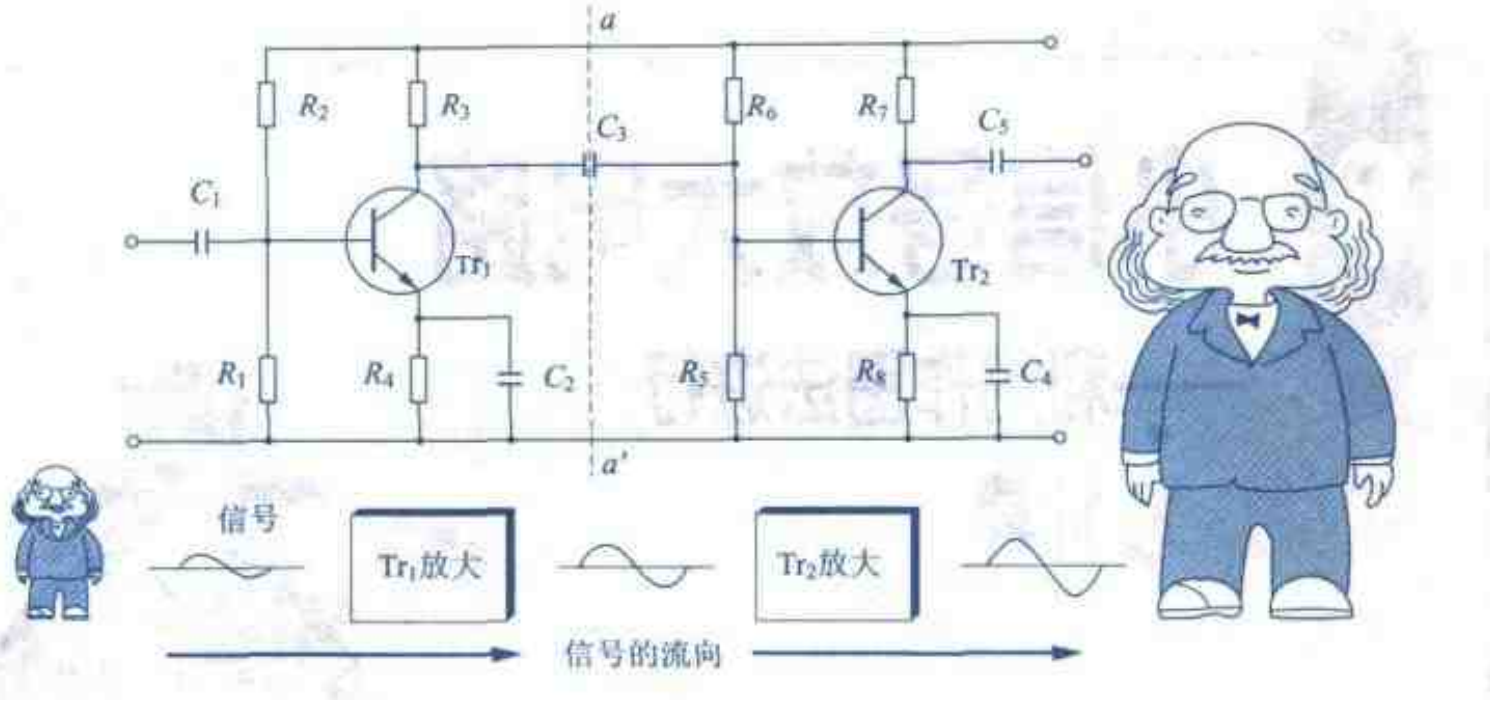


图 1 采用 *RC* 耦合的二级放大电路

Doc. 经常采用的方法是利用电容、电阻耦合的方式，因此，这种放大器也称为 *RC* 耦合放大电路。图 1 给出了一个二级的 *RC* 耦合放大电路。

Mako 连接晶体管 Tr_1 和晶体管 Tr_2 的电容 C_3 就是耦合电容吧！

Mako 噢，不对，不止是 C_3、C_1 和 C_5 不也是耦合电容吗？

Mako 你说什么呀？

Doc. 如果 C_1 和 C_5 的前后接有晶体管，不就靠这些电容来传递信号吗？当然它们都应该叫耦合电容了。

Doc. 是啊，正向你们所议论的那样，C_1、C_3 和 C_5 都是耦合电容（也称级间电容）。这些电容除了将交流信号（输出电压）传递给下一级之外，还负有滤除直流分量、只允许交流分量通过的责任呢（参见图 2）。

通过多级进行放大的电路通常采用图 1 的耦合方式，单独取出其中的一级就是图 3 所示的形式。

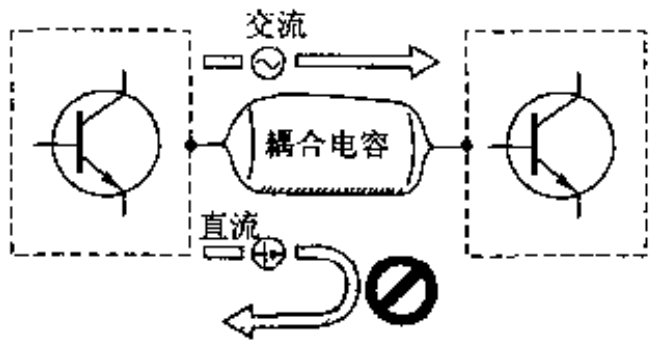


图 2 采用耦合电流过滤除直流分量

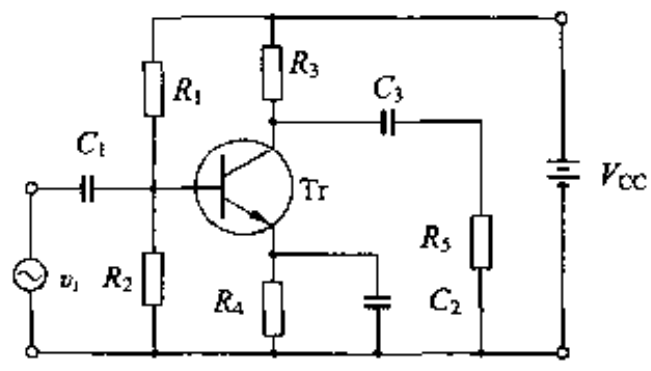


图 3 *RC* 耦合放大电路

Mako　C_1 和 C_3 的确是耦合电容，那么 C_2 又是做什么的呢？

Doc.　C_2 称为旁路电容，用于阻断电阻 R_4 上的交流通过。

Mako　耦合电容的作用是滤除直流分量，为什么还要阻断 R_1 电阻上的交流通过呢？

Doc.　这个么，是因为在传递交流信号时直流分量会带来麻烦，而当需要稳定的偏置时，交流分量也会带来不便。不妨将图 3 中 RC 耦合放大电路的工作过程按直流通路和交流通路分开来看看。

Mako　如果只考虑图 3 中的直流通路，就可以得到图 4 的形式。

Jiro　啊，这不是电流反馈偏置电路吗？这在前面已经学习过，我还记得很清楚。而 H. 晶体管的直流负载电阻应该是 $(R_3 \mid R_4)(\Omega)$。

Doc.　那么，图 3 的交流通路又是什么样子呢？

Jiro　对于交流来说，C_1、C_2 和 C_3 的阻抗可以忽略不计，因此它们相当于短路，再加上 V_{CC} 内部电阻很小对交流分量是导通的，这样就可以得到图 5 的交流通路。

Doc.　在图 5 中，交流的负载电阻 R_L 应该是多少呢？

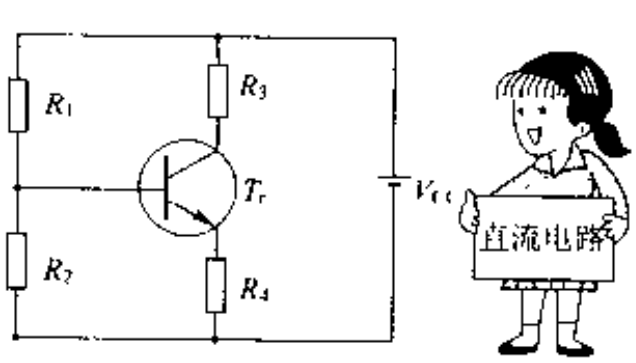


图 4　图 3 的直流电路

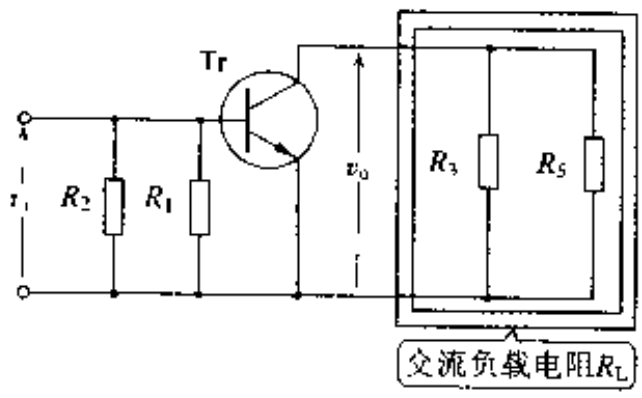


图 5　图 3 中的交流通路

Jiro　R_L 是 R_3 和 R_5 并联

$$R_L = R_3 R_5 / (R_3 + R_5)$$

Doc.　对，正如以上讨论的那样，如果将电路分成直流通路和交流通路，然后分别画出直流负载线和交流负载线并求出最佳静态工作点，再通过所需的基极电流 I_B 来确定各个电阻值，就可以得到没有失真的最佳输出电压了。

Mako　那么，老师，如果给定图 3 的 RC 耦合放大电路中各元件的具体参数，请您确切地说明一下小信号放大过程好吗？

Doc.　好，让我们按以下的步骤做一下。

如何利用特性曲线求放大系数

例题 1

假定在图 3 的 RC 耦合放大电路中，$V_{CC}=6\text{V}$，$R_3=3\text{k}\Omega$，$R_4=1\text{k}\Omega$，$R_5=6\text{k}\Omega$。

如果此放大电路的 I_C-V_{CE} 特性如图 6 所示，请在此图上画出直流负载线和交流负载线，假设晶体管的静态工作点 $I_C=1\text{mA}$。

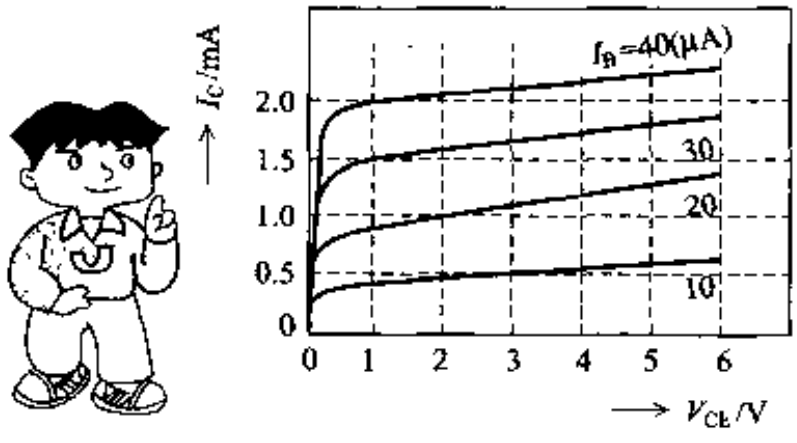


图 6 I_C-V_{CE} 特性

Mako 根据图 4 可知，此电路的直流负载电阻为 $(R_3+R_4)\Omega$。因此，直流负载线可通过连接 I_C 轴上 $V_{CC}/(R_3+R_4)=1.5(\text{mA})$ 的点和 V_{CE} 轴上 $V_{CC}=6\text{V}$ 的点的直线得到(参见图 7)。

Jiro 我来画交流负载线吧！由图 5 可知，交流负载电阻为

$$R_L=R_3R_5/(R_3+R_5)=2(\text{k}\Omega)$$

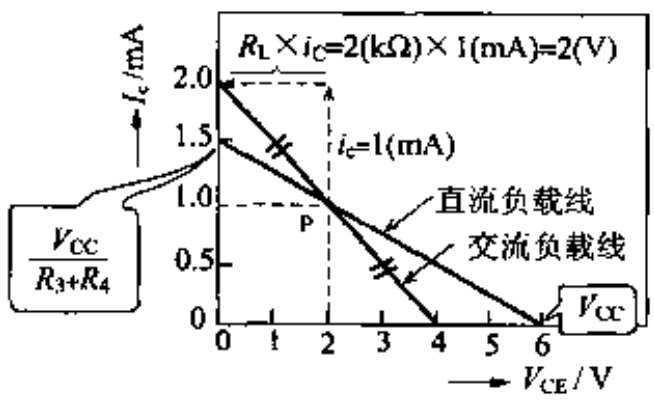


图 7 负载线的画法

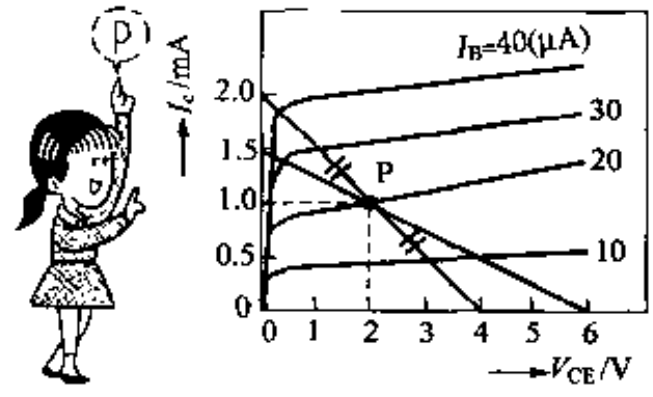


图 8 利用静态工作点 P 确定基极电流

由题目给出的条件，可以求出负载线上的静态工作点为 P($I_C=1\text{mA}$，对应的 $V_{CE}=2\text{V}$)。将此 P 点垂直上移任意 i_c 值(此处为 1mA)，再向左平移 $R_L\times$

$i_c=2V$，就可以确定出另一点。最后，将该点与 P 点连起来就画出了交流负载线。

图 7 给出了上述交流负载线的画法。

Doc.　将负载线画在 I_C V_{CE}特性曲线上，就得到了图 8。

例题 2

在图 8 中，为了得到 I_c =1mA 的静态工作点，试问需要多大的基极电流 I_B？

Mako　$I_B=20(\mu A)$。

Doc.　完全正确！请看下一个问题。

例题 3

假设图 9 和图 10 分别给出了图 3 的放大电路的 I_B-V_{BE}特性曲线和 I_C-I_B 特性曲线。在特性曲线上 $I_B=20\mu A$ 点处叠加输入信号 $v_i=0.05\sin\omega t V$，请画出基极电流 i_b 的波形和集电极电流 i_c 的波形。

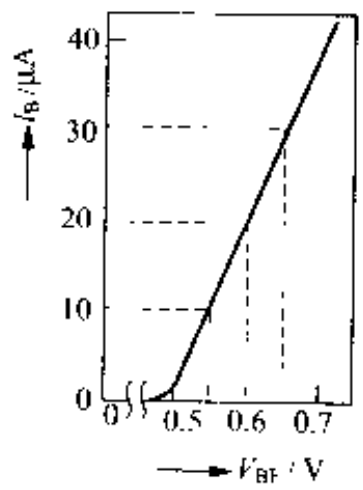


图 9　I_B-V_{BE}特性曲线

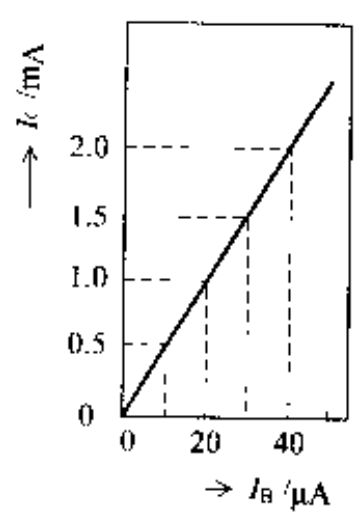


图 10　I_C-I_B 特性曲线

Jiro　因为已知基极电流 $I_B=20\mu A$，在 I_B-V_{BE}特性曲线和 I_C I_B 特性曲线上找到该点，以 $I_B=20\mu A$ 为中心，由 v_i 画出 i_b，再由 i_b 画出 i_c，这样画出的图 11 和图 12 就是二者的波形。

例题 4

根据图 12 得到的 i_c，在 I_C V_{CE}特性曲线上利用做图法求出 v_{ce}。

Mako　根据图 13 可以求出的 v_{ce}波形。

Doc.　好，大家辛苦啦！经过上面的讨论，我们已经清楚了利用绘图方法可以求出 RC 耦合放大电路的电流、电压以及功率放大系数。

我想这种方法大家应该明白了，不妨自己做做看！

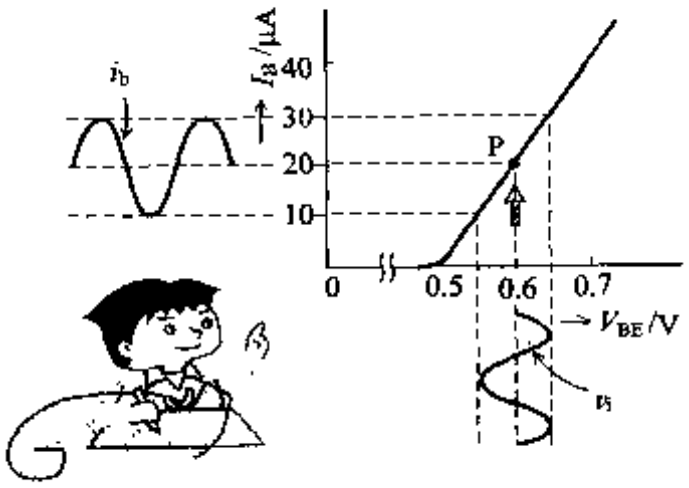


图 11 由 V_i 作图求出 i_b

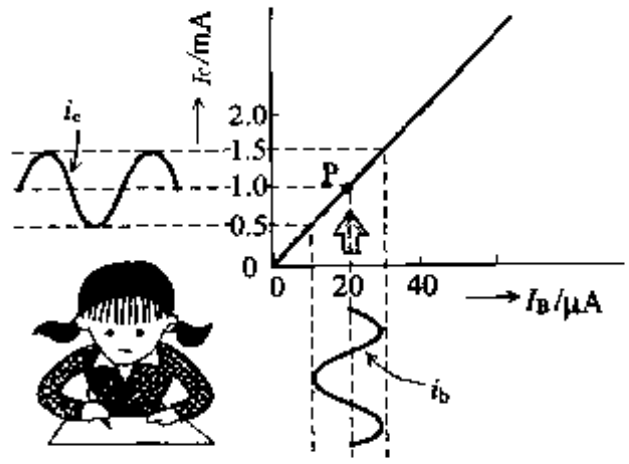


图 12 利用 i_b 作图求出 i_c

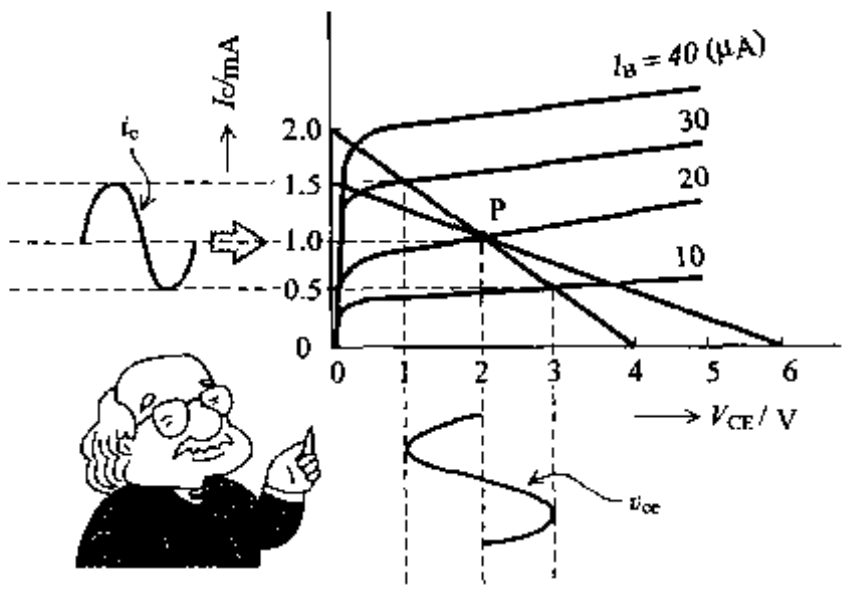


图 13 利用 i_c 作图求出 v_{ce}

自我挑战

问题 试参考图 11～图 13，画图求出电流放大系数 A_i、电压放大系数 A_v 和功率放大系数 A_p。

答 $A_i = \dfrac{i_c \text{ 的最大值}}{i_b \text{ 的最大值}} = \dfrac{0.5\text{mA}}{10\mu\text{A}} = 50$　　$A_v = \dfrac{v_{ce} \text{ 的最大值}}{v_i \text{ 的最大值}} = \dfrac{1V}{0.05V} = 20$

$A_p = A_i \times A_v = 1\,000$

9 负反馈放大电路

——总增益减小但稳定性增强





何谓负反馈

Doc. 现在的放大电路为了提高电路的性能，肯定会采用称为负反馈的精细处理措施。如果不能充分了解负反馈的性质，不仅不能提高电路的性能，还可能对电路的性能造成损害，请大家一定要注意这一点。

Mako 改善性能？能改善电路的哪些性能啊？怎样才能构成负反馈呢？

Doc. 在放大电路的内部通常都会产生一些波形失真和噪声，而且，由于温度等因素的变化会引起增益的改变，这些问题造成了放大器性能的不稳定，因此需要加以改善。

所谓负反馈，是由“负”和“反馈”两个词汇构成的。“反馈”是指像宇宙飞船在宇宙飞行后又返回地面那样，返回到出发点。这里是指利用某种方法使放大

电路的输出重新返回输入端。“负”的含义则是指返回的信号将抵消一部分原输入信号的返回方式。

Jiro 如此看来，既然有负反馈，想必也有正反馈吧。如果是正反馈，反馈回来的信号也就会加强原信号喽。

Doc. 你的观察力很不错，的确如此。如果用相位来描述的话，抵消一部分原输入信号就是反相。那么，加强原信号又该说成什么呢？

Muko 那就是同相啦。这样说来，对于输入信号来说，负反馈是反相、正反馈就是同相，它们都是将输出的一部分反馈回输入端。

Jiro 要想改善放大电路的性能，采用负反馈和正反馈都可以吗？

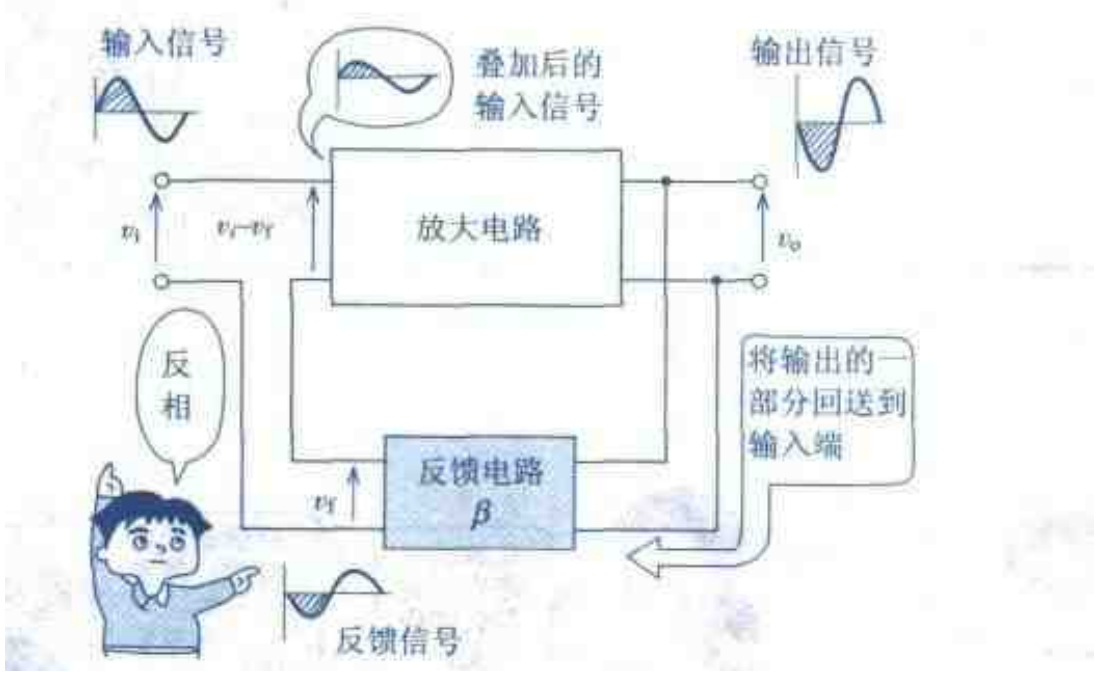


图 1 负反馈的原理

Jiro 正反馈多用于振荡电路，由于它的工作状态不稳定，因此在放大电路中很少采用。

图 1 是负反馈电路的工作原理图。在图中，v_i 为输入电压，v_o 为输出电压，v_f 为反馈电压。

v_f 和 v_o 的比称为反馈系数，用 β 表示：

$$\beta=\frac{v_f}{v_o}，\text{所以 } v_f=\beta v_o$$

加入负反馈后电压放大系数将如何变化？

Jiro 采用负反馈的放大电路的电压放大系数（增益）应该怎么计算呢？

Mako　Jiro，电压放大系数不就是用输出电压 v_o 除以输入电压 v_i 计算出来的吗？加不加负反馈都应该是用 v_o/v_i 来计算吧。

Jiro　可是，加入负反馈后电路更复杂了，会不会有什么方便一些的方法呢？

Doc.　看来你们的意见有点分歧，如果在负反馈电路中仍用 v_o/v_i 的方式计算求解的话，处理过程将非常麻烦。因此，通常的做法是先分别计算不含有反馈电路时的电压放大系数 A_v 和反馈系数 β，然后再按下式求出加入负反馈的电压放大系数 A_{vf}：

$$A_{vf}=\frac{A_v}{1+\beta A_v}$$

Mako　这个式子一下子看不太明白，不知道它是怎么得来的。

Doc.　嗯，这个式子的确容易让人感到困惑。来，让我们一起推导一下。在图 1 中，假设没有加入负反馈时的电压放大系数为 A_v、输入电压 v_i，那么，输出电压 v_o 应该是多少？

Mako　$v_o=A_vV_i$。

Doc.　对。其次，若将输出电压 β 倍的电压 v_f 负反馈回输入端，则放大电路的输入电压就是图 1 中给出的 v_i-v_f，此时的输出电压 v_o 应如何表示呢？

Mako　$v_o=A_v(v_i-v_f)$。

Doc.　对，请将 $v_f=\beta v_o$ 代入上式，展开并求出 v_o/v_i。

$$\begin{aligned}v_o&=A_v(v_i-v_f)=A_v(v_i-\beta v_o)\\&=A_vv_i-\beta A_vv_o\end{aligned}$$

Mako　由于 $A_vv_i=v_o+\beta A_vv_o=(1+\beta A_v)v_o$，因此，将等式两边同时除以 $v_i(1+\beta A_v)$，即可得到 $v_o/v_i=\dfrac{A_v}{1+\beta A_v}$。

Doc.　好了，现在我们来做一个例题。

例题 1

在电压放大系数 $A_v=1\,000$ 的放大电路中，如果加入反馈系数 $\beta=0.02$ 的负反馈，那么，电压放大系数 A_{vf} 应该是多少？

Jiro　$A_{vf}=\dfrac{A_v}{1+\beta A_v}=\dfrac{1\,000}{1+1\,000\times0.02}=47.62$

Doc.　通常，由于负反馈电路中有 $1+\beta A_v\gg1$，因此，其电压放大系数是没有加入反馈时的 $\dfrac{1}{1+\beta A_v}=\dfrac{1}{1+1\,000\times0.02}=\dfrac{1}{21}$ 倍。

再来思考下一个问题。

例题 2

假设例题 1 放大电路的放大系数 A_i 下降 10%，则发挥电路的总放大系数 A_{if} 将变成多少？

Jiro　因 $A_v=1\ 000$，下降 10%则有

$$A_{vf}=\frac{900}{1+900\times 0.02}=47.37$$

采用负反馈能得到稳定的放大系数

Doc.　将例题 1 和例题 2 的结果作比较，Mako，你注意到了什么问题？

Mako　数值分别是 47.62 和 47.37，看上去变化不大。

Doc.　是啊，尽管放大电路的放大系数下降 10%，由于电路中加入负反馈，其变化率仅为

$$\frac{47.62-47.37}{47.62}=0.005\ 2=0.52(\%)$$

由此可以看出，电路中加入了负反馈后能够获得更稳定的放大系数（参见图 2）。

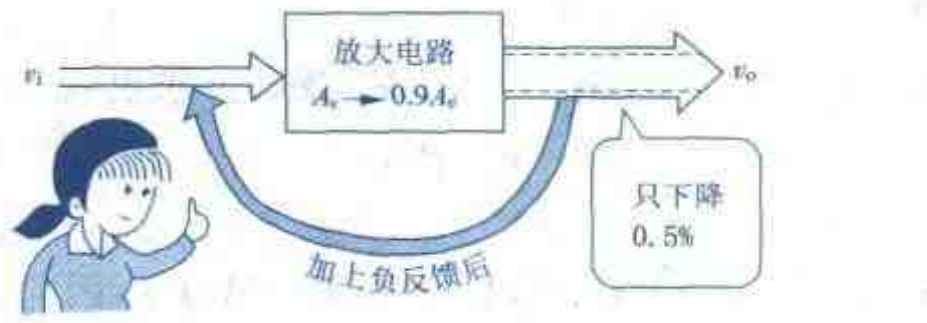


图 2　加入负反馈可以增加放大系数的稳定性

Doc.　我原以为加上负反馈后电路放大系数变小，不合算，但现在看来放大系数本身却更稳定了。

Doc.　放大电路的放大系数或增益受很多因素的影响，常常会因温度、电源电压以及晶体管器件特性的分散性等原因而发生变化。如果加入负反馈，就会使电路变得非常稳定。

Mako　我想请您用实例来说明一下如何加入负反馈。

Doc.　好，请看图 3。此电路去掉了发射极回路中的旁路电容。在发射极回路中，若去掉原来与电阻 R_E 并联的旁路电容后，电路的放大系数将会降低，但通过电阻 R_E 构成了负反馈。

Mako　那么，电路的放大系数为什么会降低呢？

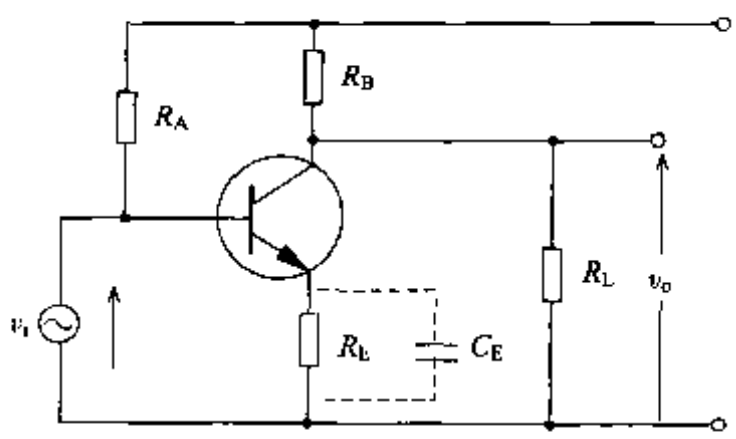


图 3　去掉旁路电容 C_E 的放大电路

Doc.　如果我们将图 3 中的电路分为包含旁路电容 C_E 的交流通路和不包含 C_E 的交流通路，就会得到图 4 和图 5 所示的电路。在图 4 中，输入信号 v_i 被直接加到晶体管上，在这种情况下电路的放大系数不会降低。但是，当图 5 中去掉 C_E 时，由于发射极回路中保留了电阻 R_E，因此若有输出信号电流通过 R_E 就会产生压降，致使输入信号电压 v_i 减小，电路放大系数降低，从而构成了负反馈。

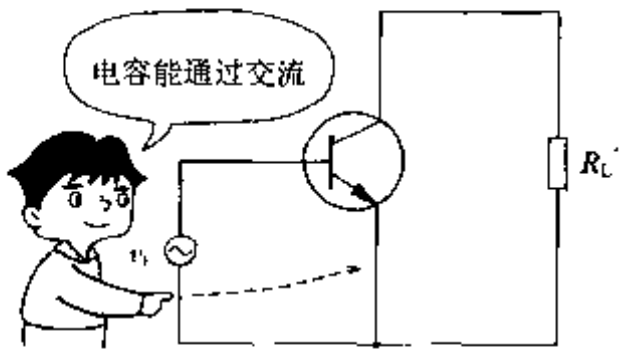


图 4　有 C_F 时的交流通路

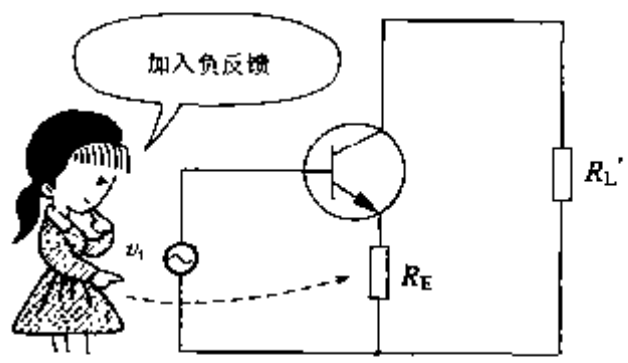


图 5　无 C_F 时的交流通路

有关负反馈的加入方法可参考图 6 和图 7 进行仔细研究。

Jiro　放大电路中加入负反馈的效果我已经清楚了，它可以稳定放大系数（增益），除此之外还有什么其他好处吗？



图 6　输出信号电流 i_e 产生的压降



图 7　输入信号电压 v_i 和反馈电压 v_f 反相

改善电路的频率特性与抑制失真和噪声

Dac. 对于放大电路来说，当没有加入负反馈时测得的频率特性如图 8 所示。从图中可以看出，加入负反馈后放大系数会整体有所下降，但可使频带增宽。

Dac. 它为什么能减小失真和噪声呢？

Dac. 关于这一点可以按如下方法来证明：

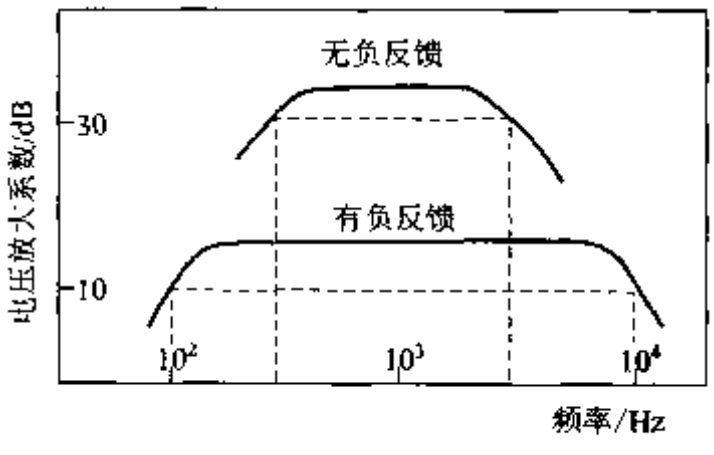


图 8 采用负反馈改善频率特性的示例

假设没有加入负反馈时的电压放大系数为 A_v，输入信号的电压为 v_i，失真电压为 v_d，噪声电压为 v_n，那么，放大电路的输出电压 v_o 是这三项之和：

$$v_o = A_v v_i + v_d + v_n$$

现在，如果加入反馈系数为 β 的负反馈，则输出电压 v_o 为：

$$v_o = A_v(v_i - \beta v_o) + v_d + v_n$$

求解此式可得 v_o 为：

$$v_o = \frac{A_v v_i}{1+A_v\beta} + \frac{v_d}{1+A_v\beta} + \frac{v_n}{1+A_v\beta}$$

上式说明，输出端的失真电压及噪声电压都会降低 $\frac{1}{1+A_v\beta}$

自我挑战

问题 试求出图 9 所示的负反馈放大电路的电压放大系数 A_{vf}，其中，$A_v=80$，$\beta=0.2$。

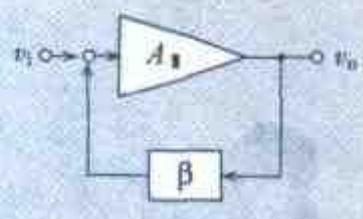


图 9

答 $A_{vf} = \frac{A_v}{1+\beta A_v} = \frac{80}{1+(0.2\times 80)} = 4.7$

图 9 中电压放大系数 A_{vf} 可以采用自控系统中传递函数的等效变换方法来计算：

$$(v_i - \beta v_o)A_v = v_o,\ v_i A_v = v_o(1+\beta A_v)$$

所以，$A_{vf} = \frac{v_o}{v_i} = \frac{A_v}{1+\beta A_v}$

10 功率放大电路的思考方法

——小马拉不动大车





小信号放大和大信号放大的差异

Mako　前面我们已经学习了放大电路的相关知识，如果在放大电路的输出端接上扬声器，就应该能够听到音乐了吧！

Doc.　噢，那还不行。Mako，前面学习的放大电路并不是用来驱动扬声器发声的，若用它来驱动扬声器也许能听到一点声音，但离欣赏音乐还有很大的距离。这就是说，主要处理小信号的小信号放大电路还不能驱动扬声器。

Mako　那么，小信号放大电路同驱动扬声器的放大电路究竟有什么区别呢？

Doc.　要驱动扬声器工作，需要采用能给扬声器提供较大功率的放大电路。这种放大电路称为功率放大电路，也可称为大信号放大电路。

同小信号放大电路相比，它处理的信号大小当然有所不同。在处理大信号的功率放大电路中，如图 1 所示，由于产生的集电极电流较大，将会导致晶体管的内部发热。

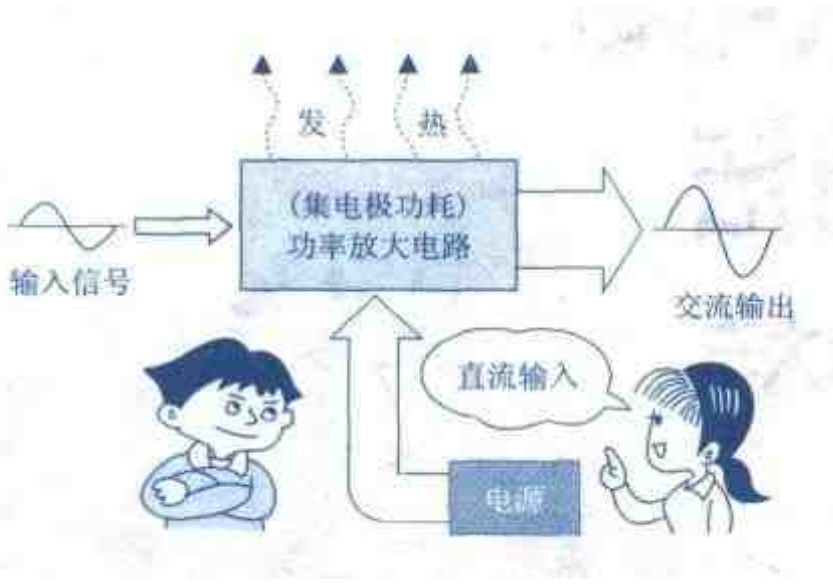


图 1 晶体管的发热

Jiro 是不是说，小信号放大电路和大信号放大电路中使用的晶体管的工作范围是不同的，功率放大电路中的晶体管必须采用能够允许流过较大集电极电流的晶体管吧！

Mako 实际中的小信号放大和功率放大的晶体管的特性又有多大差别呢？

Doc. 作为一个示例，我们来比较一下它们的最大额定值，请看图 2。你们发现了什么问题？

Jiro 集电极-基极电压 V_{CBo} 和集电极-发射极电压 V_{CEo} 的值比较接近，但最大集电极电流 I_C 和集电极功耗 P_C 的值差别很大。我想，如果不提供这么大的功率看来就不能驱动扬声器吧？

Mako 老师，集电极功耗 P_C 的值表示什么含义呢？超过这个值又会怎样？

Doc. 在晶体管中流过的集电极电流较大意味着内部将会发热，发热程度是由集电极-发射极之间的电压 V_{CE} 和集电极电流 I_C 的乘积决定的。

换句话说，由 $P_C = V_{CE} I_C$(W) 确定的值 P_C 就称为集电极功耗。若该值超过了晶体管的最大集电极功耗 P_{Cmax}，则因发热产生的热量可能烧毁晶体管。



图 2 小信号和功率放大用晶体管的最大额定值

Mako 啊，我明白了。功率放大用晶体管中安装了图 3 所示的散热片就是出于这个缘故吧！

Jiro 功率放大用晶体管的工作范围必须限制在图 4 所示的、由最大

集电极电压 V_{CEmax} 和最大集电极电流 I_{CEmax} 的两条直线，以及最大集电极功耗 P_{Cmax} 的曲线围成的范围内。

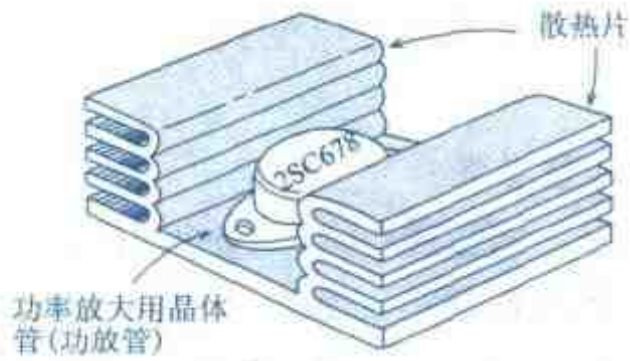


图 3　散热片示例

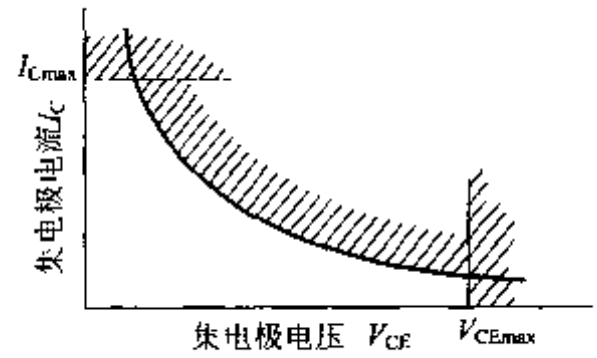


图 4　允许的集电极功耗

Doc.　完全正确。不过，实际上，是否安装了散热片以及环境温度都会引起最大集电极功耗的变化。因此，在使用晶体管时，应保证集电极功耗 P_C 略小于最大额定功耗 P_{Cmax}。

为什么 A 类功率放大电路要使用变压器

Mako　我已经明白了为什么小信号放大电路的输出不能驱动扬声器的原因，现在，很想知道功率放大电路的组成及其工作原理。

Doc.　在功率放大电路中，根据工作状态的不同可以划分为 A 类功率放大电路和 B 类功率放大电路。请看图 5，这是一个最基本的 A 类功率放大电路。

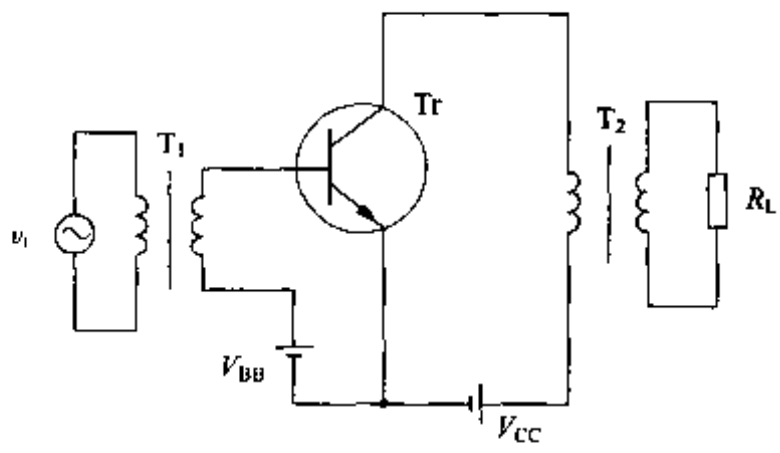


图 5　基本 A 类功率放大电路

在电路图中，变压器 T_1 是输入变换器，而变压器 T_2 称为输出变换器。T_1 的功能是使信号源的内阻能与晶体管的输入阻抗相匹配，而 T_2 的功能是保证最大效率地将晶体管的输出提供给负载电阻 R_L。

Mako　看了图 5 给出的电路，我有些不明白。为什么输出端的电阻 R_L 不是直接连在集电极电路上，而要特意通过变换器 T_2 来输出呢？

Doc.　就像 RC 耦合那样，如果在输出端直接接入电阻，当通过集电极

的电流较大时，就会在此电阻上产生较大的功耗。因此，为减少功耗，A 类功率放大电路采用了变换器耦合方式。

这里还有一个很重要的问题必须提到，那就是此电路的负载是扬声器，由于扬声器的阻抗多为 8～16Ω，阻值较小，因此，为了将阻值变换成放大电路的最佳负载，采用变换器比较恰当。

Jiro 放大电路的最佳负载又是什么意思呢？

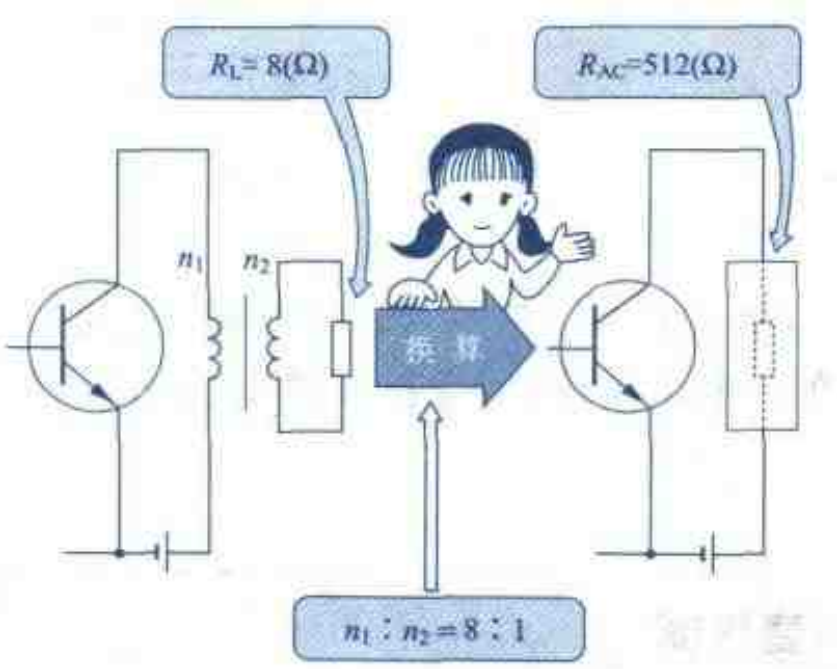


图 6 阻抗变换

Doc. 就是获得最大输出功率的负载值。如果电路的输出阻抗也为 8Ω 或 16Ω，那么，采用相应阻值的扬声器就可以了。通常扬声器的阻值要比电路的输出阻抗小得多，因此要采用变换器进行阻抗变换，使之能够匹配。

例如，在匝数比 $n_1/n_2=8$ 的变换器输出端接有 $R_L=8\Omega$ 的负载，则从输入端看过去的等效负载 R_{AC} 可由 $R_{AC}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_L(\Omega)$ 求出，你们利用该式计算一下 R_{AC} 的值应该是多少？

Jiro 参见图 6 可知，$R_{AC}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_L=8^2\times 8=512(\Omega)$。

不过，这个变换器的变换公式是怎么得来的呢？

Doc. 此处的变换器也就是变压器，如果假设变压器的初级输入端和次级输出端的电压、电流和匝数分别为 V_1、I_1、n_1 和 V_2、I_2、n_2，则可以推导出次级输出端的负载电阻 R_L，大家试试看。

Mako 首先，有

$$\frac{V_1}{V_2}=\frac{n_1}{n_2} \tag{1}$$

$$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1} \tag{2}$$

成立。其次，流过 R_L 的电流 I_2 满足

$$I_2=\frac{V_2}{R_L} \tag{3}$$

根据式(1)、式(2)和式(3)求解 V_1/I_1 的值，就可以求出从初级输入端看过去的等效负载 R_{AC}。

由式(1)可得出 $V_1=\frac{n_1}{n_2}V_2$。再由式(2)可得出 $I_1=\frac{n_2}{n_1}I_2$。因此，有

$$\frac{V_1}{I_1}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\frac{V_2}{I_2} \tag{4}$$

将式(3)代入式(4)中便可得出 $\frac{V_1}{I_1}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2_{\mathrm{RL}}$。

如何使用负载线求出最大输出

Doc.　现在，我们来求一下 A 类功率放大电路的最大输出和电源效率，且仍然采用画直流负载线和交流负载线进行求解的方法。画出这些曲线后，就得到了图 7 所示的结果。Mako，从图中能看出直流负载线是 Vcc 恒定的一条垂直的直线，你能解释一下为什么吗？

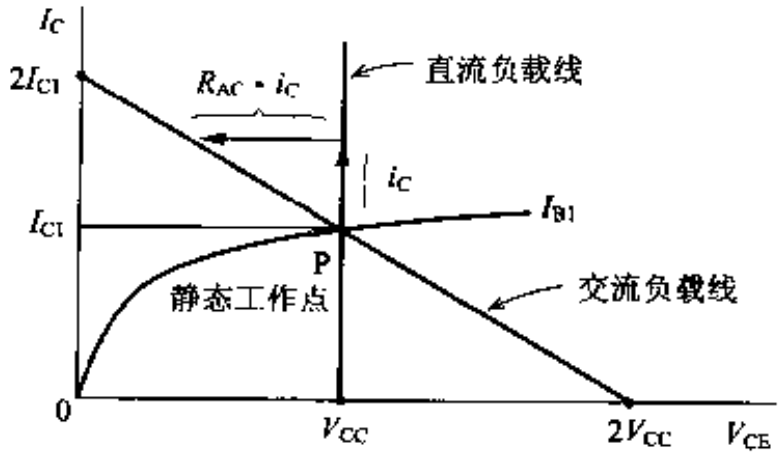


图 7　A 类功率放大电路的直流和交流负载线

Mako　好的。如图 6 所示，在集电极回路中的直流负载 R_{DC} 仅有变换器 T_2 的初级线圈，而线圈的直流电阻非常小，如果将它看作 0 就总有 $V_{CE}=V_{CC}$，因此直流负载线是经过 $V_{CE}=V_{CC}$ 的一条垂线。

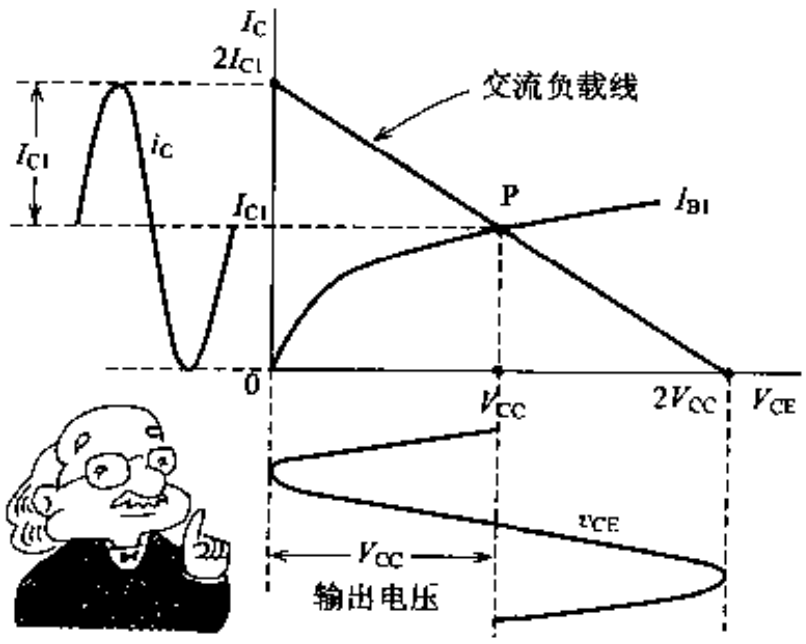


图 8　A 类功率放大电路的特性

Doc.　嗯，是这样。另一方面，在画交流负载线时，假设 R_L 经变换器 T_2 的阻抗变换值为 R_{AC}，它就是交流电阻，根据此值就可以画出图形了。

画交流负载线时，可以采用同 RC 耦合放大电路相同的方式进行。

现在我们回到原来的话题。图 7 的 A 类功率放大电路的特性如图 8 所示，若设定偏置电压保证静态工作点 P 位于交流负载线的中间，就可以得到最大输出电压了。

Jiro 嗯，将交流负载线做到最大就可以得出最大输出电压。

Mako 从图 8 可以看出，输出电压的最大值应该是 V_{CC}，输出电流的最大值为 I_{C1} 吧。

·最大输出功率的计算方法

Doc. 那么，将 V_{CC} 和 I_{C1} 转换为有效值，应怎样求出最大输出功率呢？

Jiro 应该是 $P_m=\frac{V_{CC}}{\sqrt{2}}\cdot\frac{I_{C1}}{\sqrt{2}}=\frac{1}{2}V_{CC}I_{C1}$(W)

Doc. 由于交流电阻 $R_{AC}=V_{CC}/I_{C1}$，交流电阻 R_{AC} 和最大输出功率 P_m 应满足如下关系：

$$P_m=\frac{1}{2}V_{CC}I_{C1}=\frac{V_{CC}^2}{2R_{AC}}(W)$$

·电源效率的求解方法

Doc. 下面来讨论电源效率的求解方法。直流电源所提供的功率同负载输出的功率之比称为电源效率。在 A 类功率放大电路中，直流电源提供的功率 $P_D=I_{C1}V_{CC}$(W)，得到的输出功率 $P_m=\frac{1}{2}V_{CC}I_{C1}$(W)。

因此，电源效率 η 为：

$$\eta=\frac{P_m}{P_D}=\frac{\frac{1}{2}I_{C1}V_{CC}}{I_{C1}V_{CC}}=\frac{1}{2}=0.5$$

电源效率为 0.5 意味着直流电源 V_{CC} 提供的功率中，有 50%作为输出功率 P_m 提供给负载电阻 R_L，其余的 50%被晶体管的集电极消耗了。如果再考虑到其他的损耗，通常的电源效率只能达到 30%～40%。

自我挑战

问题 当匝数比 $n_1/n_2=5$ 的变换器的次级输出端接有 8Ω 负载时，从初级端看过去的交流负载 R_{AC} 应该是多少(Ω)？

答 $R_{AC}=\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2\cdot R_1=5^2\times 8=200(\Omega)$。

11 高效功率放大电路

——好钢用在刀刃上





A 类功放效率低的原因

Mako　前一小节中，我们学习了 A 类功率放大电路的相关知识，它的电源效率最大为 0.5。这就是说，直流电源提供的功率中，只有 50%作为输出功率，我觉得确实有点浪费，能不能减少这种损耗呢？

Doc.　这个问题提得非常好！A 类功率放大电路的放大效率较低的原因是没有信号输入时也会有集电极电流通过，直流的功耗太大了（参见图 1）。

Jiro　那么，如果能做到只在有信号输入时集电极才流过电流，就会降低直流功耗，也就会提高电源效率了。有没有这种高效功率放大电路啊？

Doc.　有的。采用 B 类推挽功率放大电路就具有这样的优点。在这种电路中，只在有输入信号输入时才会流过与此信号大小相应的电流。经过这种

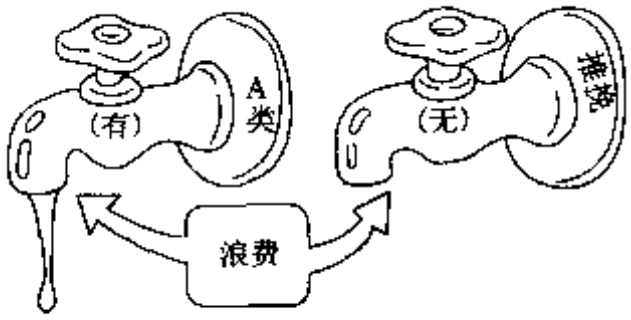


图 1



图 2

改进后，就可以得到没有失真的正弦波输出。

Mako “推挽”挺绕嘴的，是什么意思呢？

Doc. Jiro，你觉得是什么意思呢？

Doc. 我现在想到的是开关，是不是指推(push)按钮和拉(pull)开关啊？

Mako 噢，对了，push 具有推的意思，而 pull 的含义是拉，看来应该是推、拉的意思了(参见图 2)。

以晶体管为轴心的使用方法

Jiro 我想，推挽应该是对电路工作原理的一种形象说法，在实际电路中它是怎么工作的呢？

Doc. 好，现在我们以图 3 为例说明一下 B 类推挽功率放大电路的工作原理。

Mako 看了图 3 中的电路，它的工作原理我可一点也不明白。

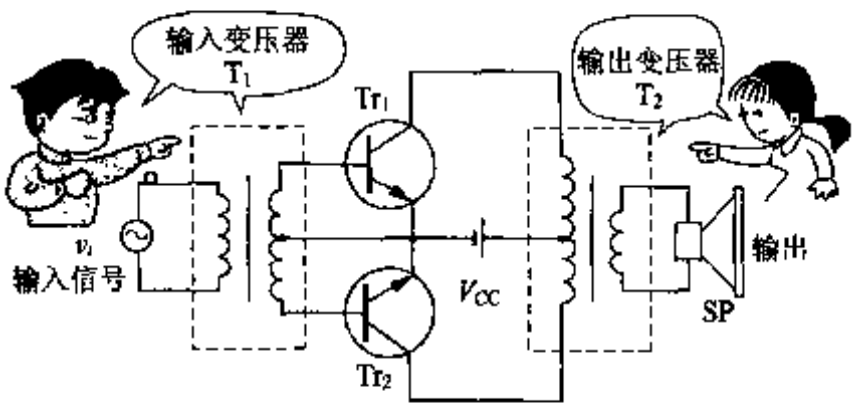


图 3 推挽放大电路

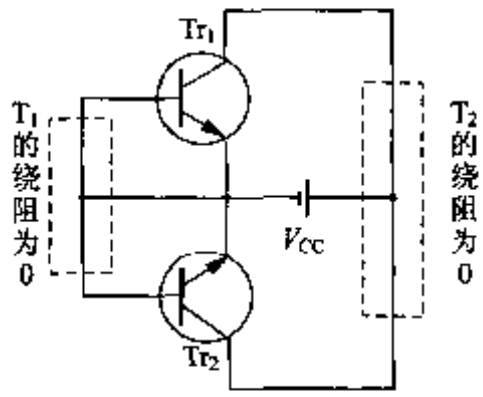


图 4 将图 3 作为直流电路

Doc.　我们慢慢地来讨论。首先，如果将图 3 中的电路看作直流电路，就成了图 4 所示的电路。此时，很自然地将晶体管的绕线电阻视为 0。那么，在图 4 中会流过基极电流和集电极电流吗？

Mako　基极和发射极之间没有接入任何元件，偏压为 0，因此不该流过基极电流和集电极电流。

Jiro　啊，是的，图 4 相当于还没有加上输入信号呢。

Doc.　接下来将图 3 视为交流电路则能得到图 5 的电路。此时，V_{CC}的短路处理前面我们已经说过了。

Jiro　观察图 5 的交流电路时，我感觉如果能理解输入变换器 T_1 的功能，就可以理解电路的功能。

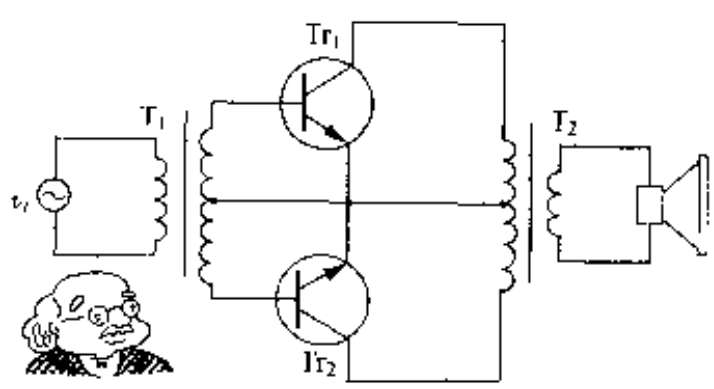


图 5　将图 3 作为交流电路

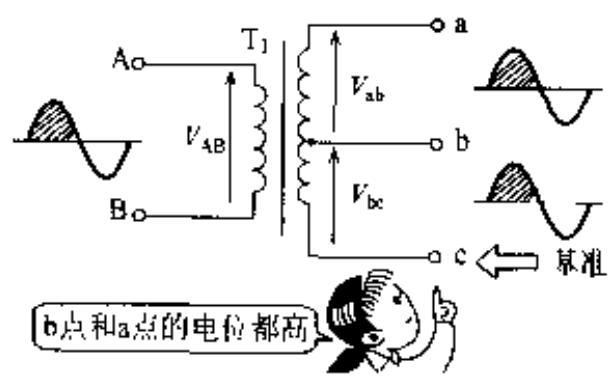


图 6　以 c 点为基准时

Doc.　是的。首先，只将 T_1 部分的电路独立出来，考虑加上输入信号 v_i 后初级端、次级端会产生什么样的电压，这可以根据图 6 来思考。

现在，假设在 T_1 的初级端加入图示方向的输入电压信号 V_{AB}，此时，以 T_1 次级端的 c 点为基准来考虑 b 点和 a 点的电位状态，其大小和幅值的关系如何呢？

Mako　根据图 6 判断，若以 c 点为基准，则 b 点的电位为 V_{bc}(V)，a 点的电位较 b 点电位高出 V_{ab}(V)。

Doc.　完全正确。那么，如果以 b 点为基准，再来考虑 a 点和 c 点的电位又会是什么样呢？请参考图 7 说明其大小和幅值关系。

Jiro　从图 7 中可以看出，a 点的电位为 V_{ab}(V)，相反 c 点的电位为

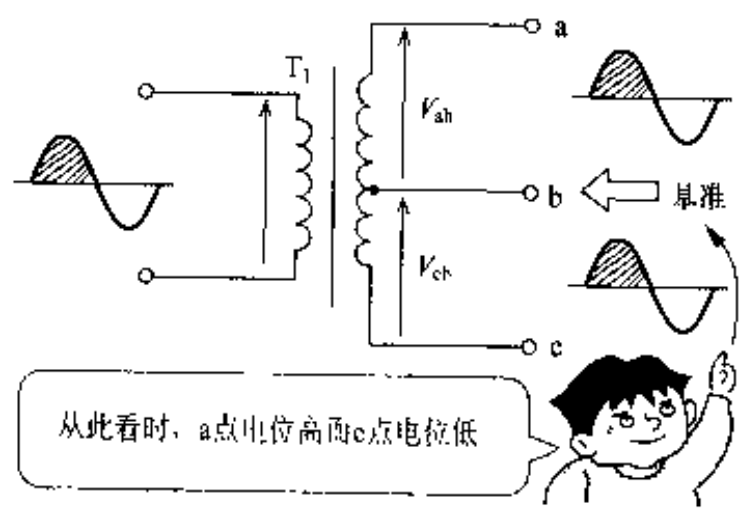


图 7　以 b 点为基准时

V_{bc}(V)较低。也就是说，以 b 点为基准时，a 点和 c 点的电位恰好是反相的。

Doc. 抓到了关键之处。当以 b 端为基准考虑时，即使输入信号电压的极性正、负交变，a 点和 c 点的电位也总是反相的。

举例来说，若 a 点电位高则 c 点低；反之，若 c 点高则 a 点低，因此就形成了“推挽”的形式。

你们再来说说，当输入变压器 T_1 中产生的这种电位变化施加到晶体管 Tr_1 和 Tr_2 时，输出端会产生什么样的电流？请参考图 8、图 9 仔细考虑一下。

何为交越失真？

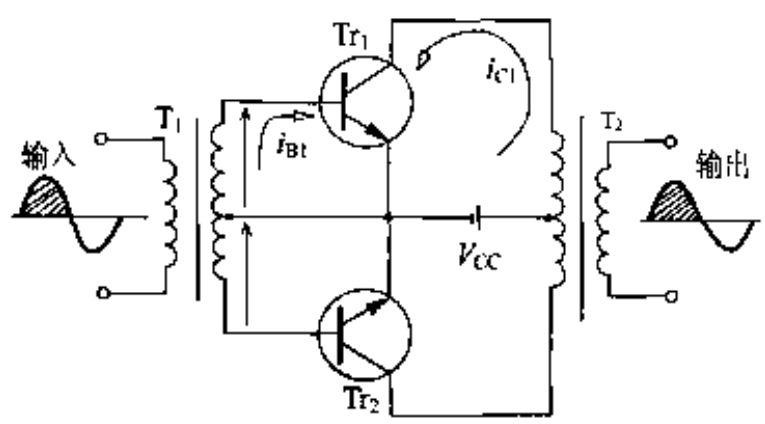


图 8 只有 Tr_1 工作

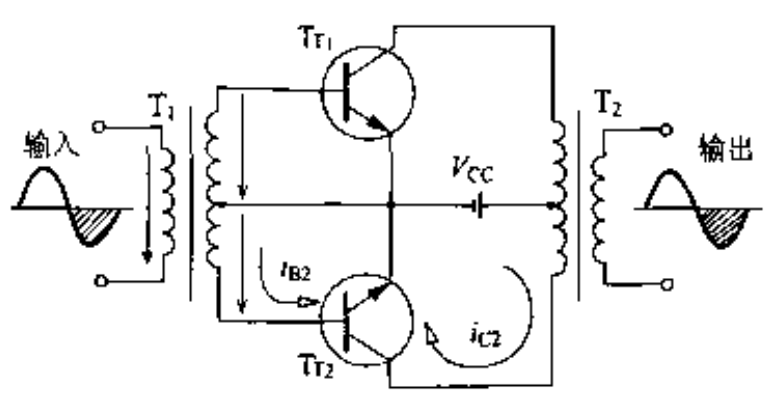


图 9 只有 Tr_2 工作

Mako 当输入信号电压具有图 8 所示的极性时，晶体管 Tr_1 工作，从而产生集电极电流 i_{c1}。此时，晶体管 Tr_2 因为基极-发射极之间施加的是反向电压而不工作。

当输入信号电压具有图 9 所示的极性时，Tr_2 工作，产生集电极电流 i_{c2}。



图 10 不设偏置电源 V_{CC} 将产生交越失真

Doc. 这样一来，将输出变压器 T_2 产生的两个输出电流合成之后就可得到输出电流的波形。只是这里还需说明偏置电源 V_{CC} 的功能。虽然输入信号是正弦波，但输出电流却不是理想的正弦波形，会产生失真，其原因是晶体管特性曲线的上升部分呈现出的非线性特点。而由此产生的输出电流失真被称为交越(crossover)失真。为了克服交越失

真，在无信号时也应加上可以产生极小的集电极电流的偏置电压，偏置电源 V_{CC} 就是为此设置的(参见图 10)。

效率有多大改善

Mako　通过上述说明，我理解了推挽放大电路是高效的，但我想知道 A 类放大电路的效率最大为 50%，而推挽式功放效率到底能有多大的改善？

Doc.　现在就来研究这个问题。图 8 和图 9 中 Tr_1 和 Tr_2 的集电极电流(输出电流)波形以及集电极电压(输出电压)波形如图 11 所示。想一想，这里应如何表示最大输出功率呢？

Mako　输出电压的最大值为 V_{CC}(V)，输出电流的最大值为 I_{cp}(A)，它们的有效值之积就是最大输出功率。因此，有

$$\text{最大输出功率 } p_m = \frac{V_{CC}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_{cp}}{\sqrt{2}} = \frac{V_{CC} I_{cp}}{2}$$

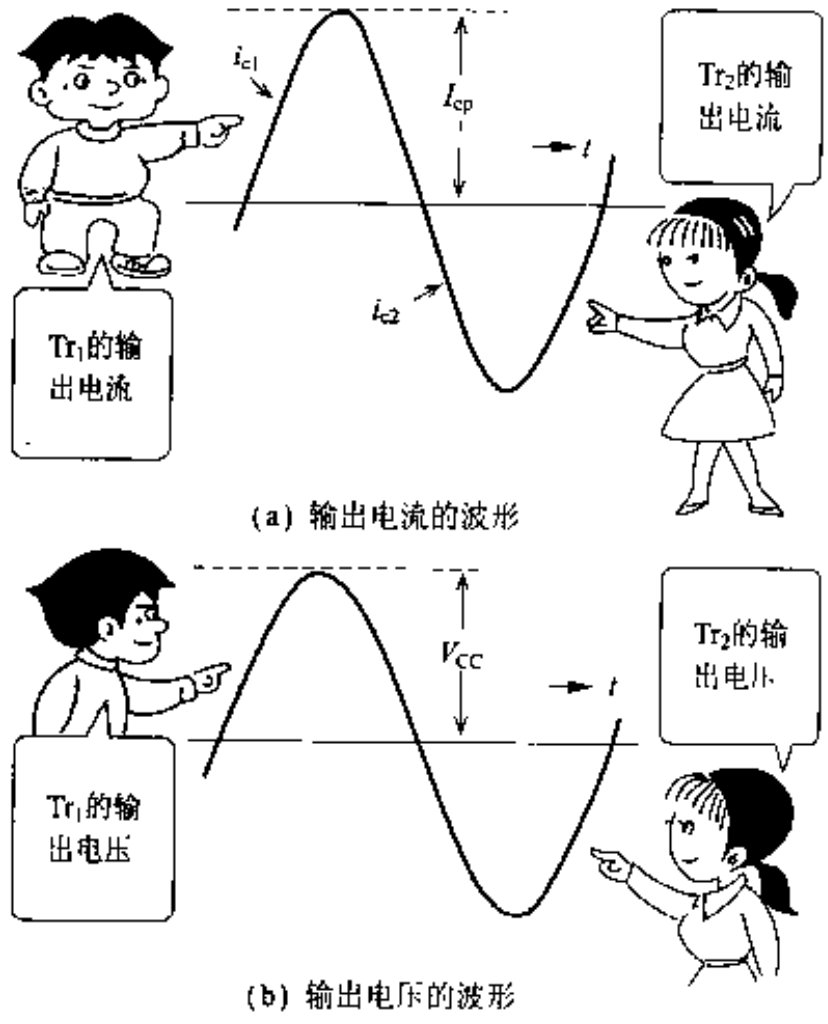


图 11

Doc.　非常好！那么，为了求得电源效率，必须计算出电源提供的直流功率，它应该如何表示呢？

Mako　电源提供的直流功率是电源电压和电源电流的平均值之积。因

此，电源的直流平均功率 P_{DC} 可由 I_{cp} 的平均值 $\frac{2}{\pi}I_{cp}$ 乘以 V_{CC} 得到。

$$P_{DC}=\frac{2}{\pi}I_{cp}V_{CC}$$

Doc.　很好。这样最大输出时的电源效率 η 可以利用 $\eta=P_m/P_{DC}$ 求出。

Jiro　电源效率利用输出功率/供给功率就可以计算出来

$$\eta=P_m/P_{DC}=\frac{1}{2}V_{CC}I_{cp}+\frac{2}{\pi}I_{cp}V_{CC}$$

$$=\frac{1}{2}\times\frac{\pi}{2}=\frac{\pi}{4}\approx 0.78$$

这说明在理想状态下，推挽功率放大电路的最大效率可达到 78%。

Doc.　前面考虑的功率放大电路都采用了输出变压器。当然，也有不采用输出变压器的功率放大电路，包括单端推挽(SEPP：Single Encled Push-Pull)电路等 OTL(Output Transformer-Less)电路，有机会时可以研究一下。

自我挑战

问题　在图 8 给出的 B 类推挽功率放大电路中，假定 $V_{CC}=6V$，集电极电流(正弦波输出电流)的最大值 $I_{cp}=30mA$，试分别求出电源功率 P_{DC}、输出功率 P_m，并求出该放大器的效率。

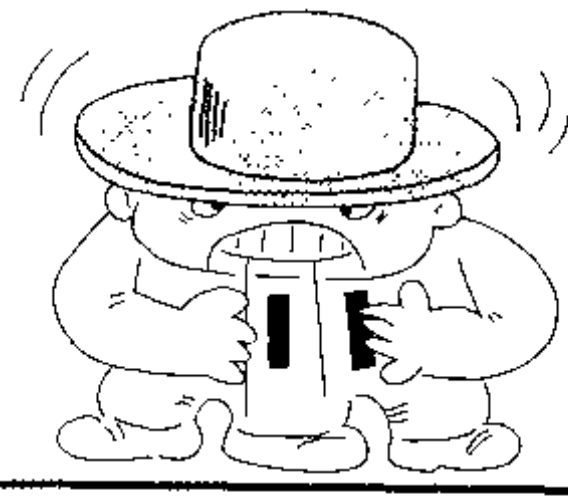
答　$P_m=\frac{6\times 30\times 10^{-3}}{2}=90\times 10^{-3}(W)=90(mW)$

$P_{DC}=30\times 10^{-3}\times\frac{2}{\pi}\times 6\fallingdotseq 114\times 10^{-3}(W)=114(mW)$

所以，$\eta=\frac{P_C}{P_{DC}}\times 100\%=\frac{90\times 10^{-3}}{114\times 10^{-3}}\times 100\%\approx 79\%$

12 FET放大电路

——压控晶体管





侃谈 FET

Mako　除了我们前面已经学过的晶体管之外，还听说有种称为 FET 的晶体管，它到底是一种什么样的晶体管呢?

Doc.　FET 是 Field Effect Transistor 的缩写，意为场效应晶体管。正如字面描述的那样，它是一种利用电场来控制电流的晶体管。

Mako　还是不太明白。若 FET 是利用电场来控制电流的，那么，我们前面学过的晶体管又是利用什么控制的呢?

Doc.　刚开始听到这种定义式的描述是不太容易理解，请看图 1。(a)为普通晶体管电路，即所谓双极型晶体管，(b)是采用 FET 晶体管构成的一个电路。双极型晶体管通过输入端输入电流就可以在输出端得到输出电流。相应的，FET 则通过在输入端加入电压便可在输出端得到电流，这就是它们的不

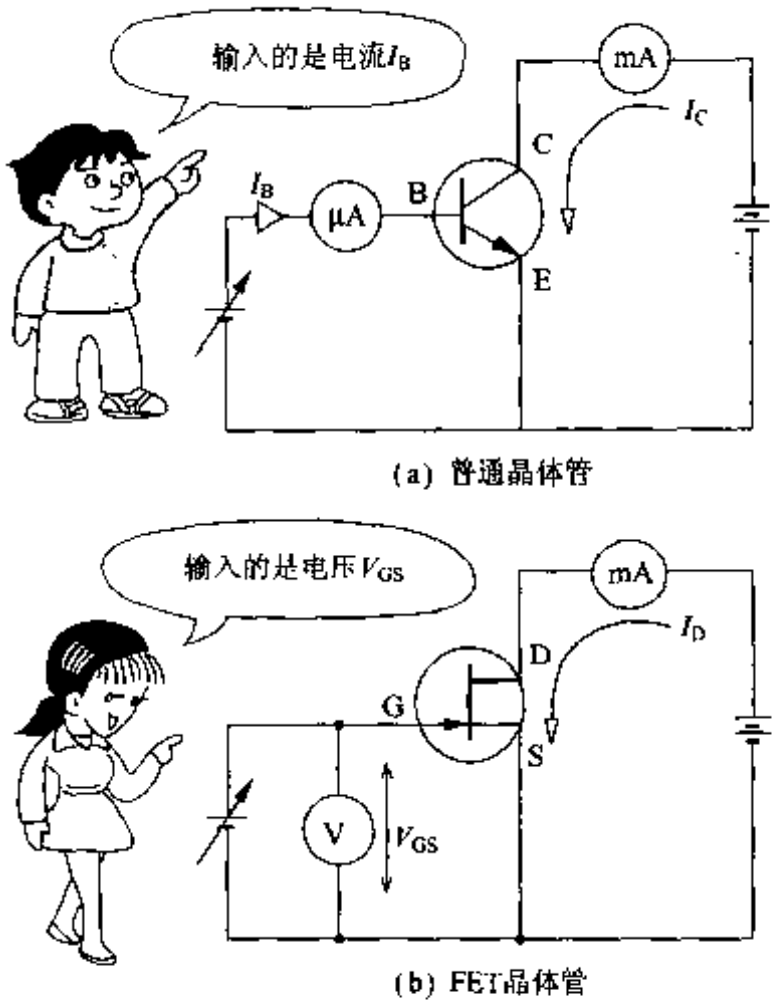


图 1　普通晶体管和 FET 晶体管的差别

同之所在。

Mako　无论什么晶体管，其输出都是通过电流变化得到的，而输入是通过电流变化得到的还是通过电压变化得到的才是它们的根本差异。这一点我已经理解了。

Jiro　双极型晶体管到底意味着什么呢，而且，FET 有没有别的什么名称呢？

Doc.　为了区分普通晶体管与 FET，有时将前者称为双极型晶体管，而将后者称为单极型晶体管。双极型意味着“具有两种极性”，自然地，单极型是指其“具有一种极性”。可以这样解释，在普通晶体管中，电流是由电子和空穴两种载流子共同构成的，而 FET 中的电流却只能由一种载流子构成，要么电子要么空穴。

Jiro　在 FET 中，为什么只能由电子或空穴中的一种载流形成电流呢，希望您能说明一下 FET 的工作原理。

Jiro　普通的晶体管也好 FET 也好都有三只管脚。尽管如此，为什么输入端还会有电流变化和电压变化的不同呢？

FET 的工作原理是利用通路变窄来阻止电流通过

Doc.　我想，如果弄清了 FET 的结构和工作原理，大家就会理解这些问题了。下面，我来给大家解释一下。

图 2 是结合型 FET 的结构示意图，它的三个管脚 D、S 和 G 分别称为漏极、源极和栅极。

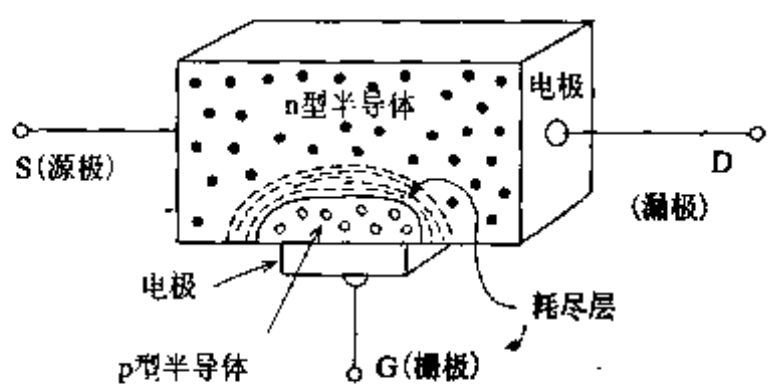


图 2　FET 的结构

当图 3 的漏极-源极之间施加电压后，就会流过一个电流 I_D，此电流 I_D 称为漏极电流。漏电流的通路如图 3 所示，当半导体是 n 型半导体时，称此 FET 为 n 沟道(channel)型 FET。

Jiro　那么，当通路是 p 型半导体时，想必称为 p 沟道型 FET 吧！沟道的含义也就应该是通路的意思了？

Doc.　是的。想一想，如果在图 4 的栅极-源极之间加上一个 pn 结反向电压后会发生什么变化呢？

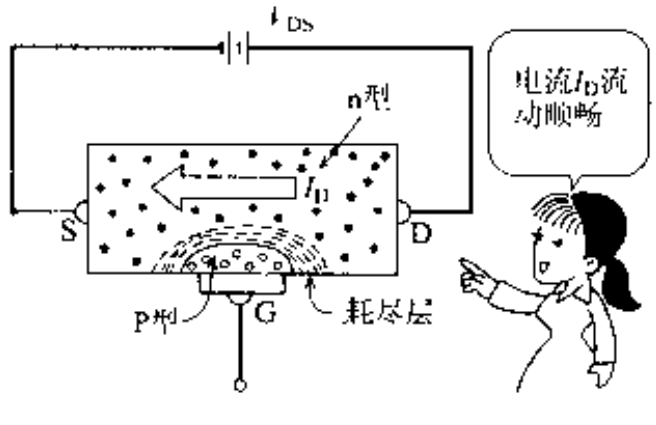


图 3　在漏极-源极之间加上电压

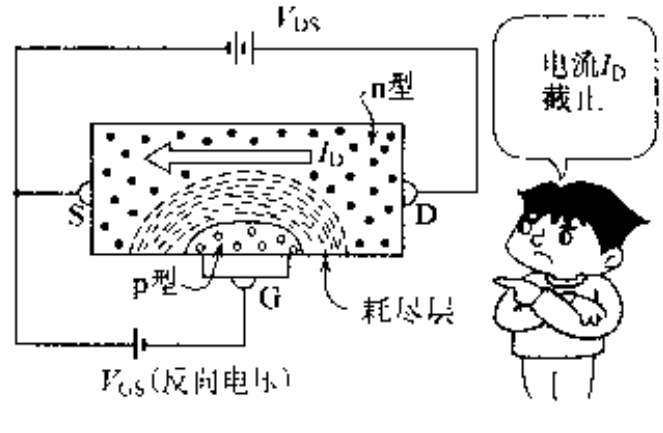


图 4　栅极-源极之间加上电压 V_{GS}

Mako　由 pn 结的原理可以联想到，加上反向电压后耗尽层会变厚。

Jiro　这样的话，漏电流 I_D 的通路就应变窄，电流就不容易通过了。若能根据反向电压的大小控制耗尽层厚度的变化，也就可以控制 I_D 的增减了。

Mako　在栅极-源极之间施加的反向电压，就应该是为了控制漏极电流 I_D 的。

Doc.　说得非常好！若在图 5 中加上反向高电压，就会因传输电流的载流子不能移动而没有电流。对于前面一直研究的 n 沟道型 FET 来说，构成漏电流的载流子只有电子。按同样的原理研究 p 沟道型的 FET，就会明白它只有空穴传输电流，因此也是单极型(一种极性)的。FET 通过栅极电压来控制漏极电流的特点与普通晶体管具有明显的不同。结合型 FET 及其图形符号可参见图 6。在 FET 中，除上面说明的 FET 之外，还有 MOS 型 FET 晶体管。

MOS 型 FET 是在构成电流通路的沟道与栅极之间加入了一层极薄的绝缘氧化膜(SiO_2)进行绝缘处理，并在绝缘氧化膜之上采用金属真空蒸镀工艺制成栅极而形成的晶体管。

Mako　真空蒸镀是什么意思啊？

Doc.　真空蒸镀是指在真空中将金属加热、融解，使金属蒸发，并附着在邻近物体的表面形成薄膜的一种加工工艺。

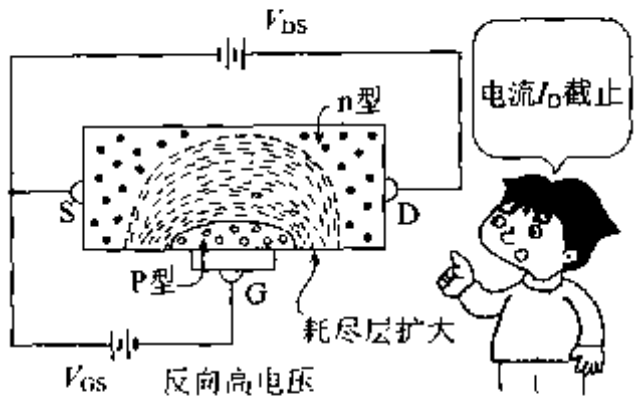


图 5 增大 V_{GS} 后

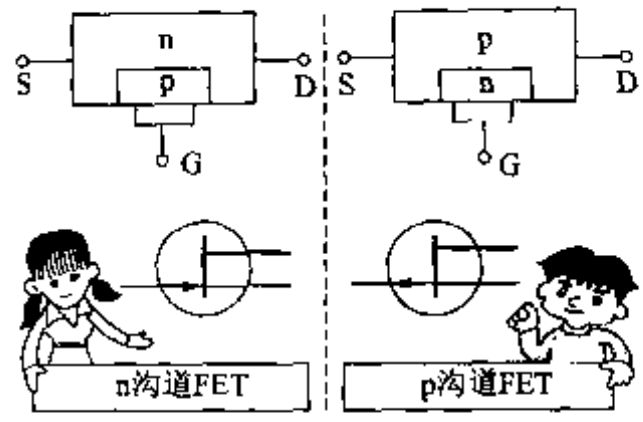


图 6 结型 FET 的结构和图形符号

Jiro FET 的工作原理已经清楚了，那么，采用 FET 的电子电路比采用双极型晶体管的电路有什么优点呢？

FET 的优点

Doc. 同双极型的晶体管电流控制器件相比，FET 属于电压控制器件，这一点前面已经解释过了。这使得 FET 受到温度的影响要比双极型晶体管小得多，同时，由于栅极上并不需要流过直流电流，这样就可以省略偏置电路的设计。此外，由于 FET 输入阻抗非常高，因此减少了多级放大电路之间的阻抗匹配问题，并且它还具有噪声系数小的优点。

Mako 依老师所说，FET 具有输入阻抗高、噪声小的优点，您能不能给我们介绍一些需要使用 FET 的具体示例呢？

FET 的应用示例

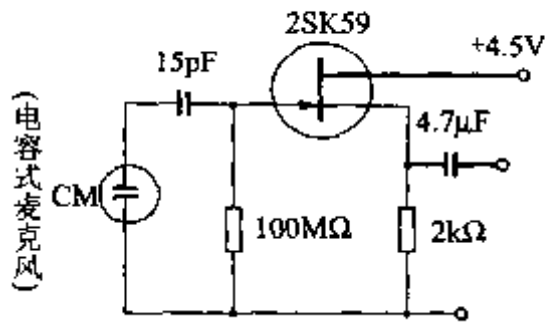


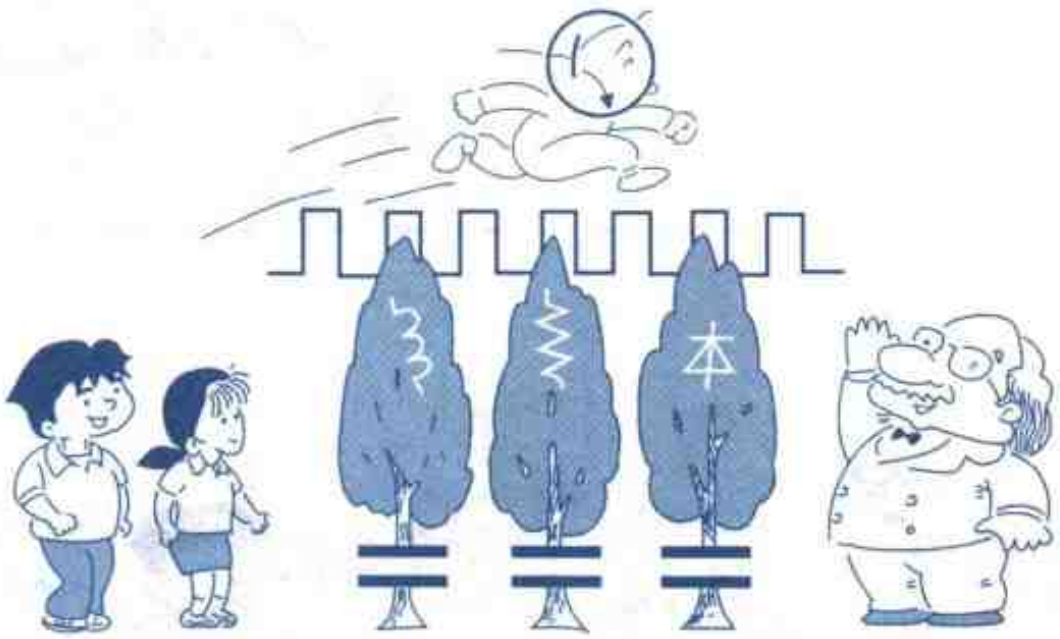
图 7 电容式麦克风电路
(FET 放大电路示例)

Doc. 好，图 7 所示为录音机和无线麦克风中采用的电容式麦克风的放大电路。电容式麦克风具有很高的输出阻抗，如果在其输出端连接输入阻抗较低的双极型晶体管放大电路，效果将非常差。因此，可以先用输入阻抗高的 FET 接收电容式麦克风的大输出信号，在降低输出阻抗后，再采用双极型晶体管进行后面的放大，这样就会得到较高效率的放大效果。

第一部分 电子电路初学者教室

第2章

各种电子电路的基础知识



本章的学习内容

本章中，我们将学习二极管、晶体管以及晶闸管等元器件在实际电子电路中的具体功能。还将介绍什么是IC及其制作方法和有关数字IC电路的组成以及IC的基本使用方法。此外，还准备了如下的一些基础知识：

(1) 如何将100V的交流电源变换成晶体管及IC等电路所需要的工作电压和电流。

(2) 当电源电压发生变化时,如何才能在输出端获得稳定直流电压。

(3) 能够产生低频或高频振荡的电路。

(4) 通过具体的示例介绍有关电子电路所具有的控制功能。

同前一章一样,请您加入到博士(Doc.)、次郎(Jiro)以及真子(Mako)的对话中,在具体的情景中学习相关的内容。

1 电源电路的思考方法

——积攒起来再用效果会更好





电源电路的组成

Mako　输送到我们(日本)家庭中的民用电源都是50Hz或60Hz的交流电。但是,迄今为止我们学习的晶体管电路是不能直接采用100V交流电工作的,总需要用什么方法将其转换成直流电吧?

Doc.　是的。驱动晶体管工作的电路通常需要使用3～12V的直流电源。因此,必须将100V的交流输入转换为3～12V的直流。转换的方法可参见图1。图中给出了转换需要经历的步骤。仔细研究图中的说明,来考虑一下电源电路的结构。

Jiro　变压电路是采用变压器将100V的交流输入电压一次性降到容易处理的低压吗?

Doc.　对，降低到 10～20V 左右。

Mako　即使电压降低了，但它还是交流，也还是不能直接使用。所以我想，必须得经过整流电路将其转换成直流！采用变压器降低电压容易理解，可图 1 中的整流电路和滤波电路会不会也要产生电压降呢？

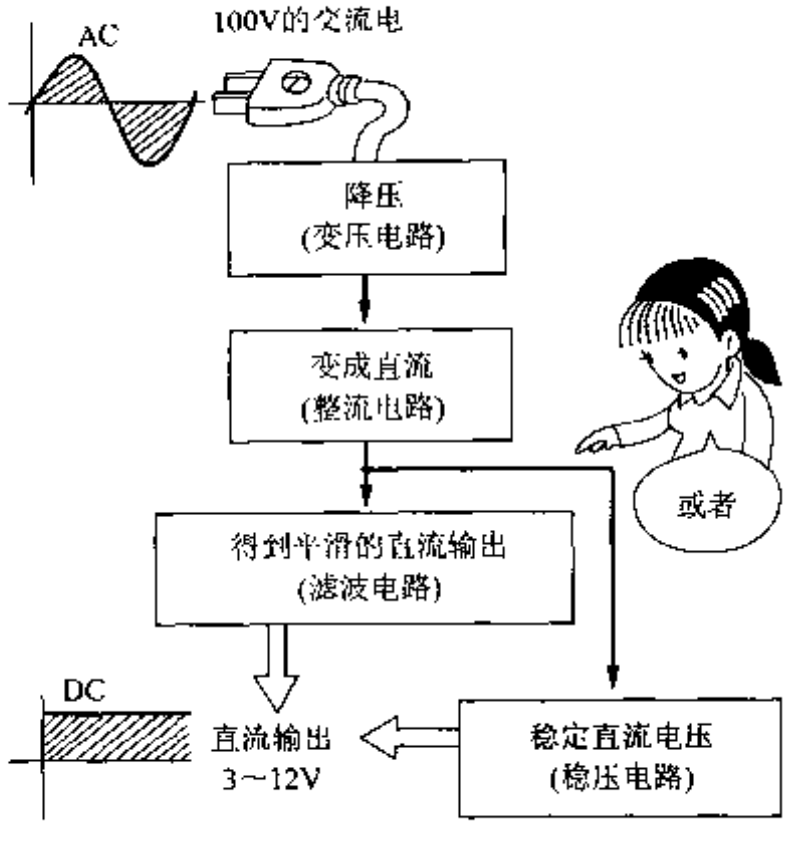


图 1　电源电路的构成

Doc.　噢，多少总会有的，正因为如此，保证变压器的次级输出端电压比所需的直流输出电压稍微高一些就十分重要了。

Jiro　变压器初级端和次级端的变压比由线圈匝数比决定，因此，我觉得在确定匝数比时就必须考虑这个问题了。

Doc.　另外，在选择变压器时，选择容量比输出电压和电流确定的输出功率大一些的为好。如果容量过小，当变压器温度升高时，就会产生一些麻烦。

在整流电路中，尽管都有效地利用了二极管的单向导通原理。但与半波整流相比，采用全波整流的比较多，你们能说清这是为什么吗？

采用全波整流比半波整流好

Jiro　在半波整流电路中，当二极管上施加了正向输入电压时，负载电阻中会有电流通过，而施加反向输入电压时则没有电流通过。因此，如图 2 所示，二极管上施加的反向电压因不能利用而被浪费掉了，且这种不能利用的部分几近一半。因此，就产生了如图 3 所示的全波整流。自然地，采用全波整流方式的整流电路用的也就比较多了。

Mako　为了组成全部整流电路，就需要采用如图 3 所示的四个二极管吧！

Doc.　想想看，在图 4 电路的负载电阻上电流是怎样流动的。

Mako　尽管变压器的极性如图 5 所示，会时常变化，而流经负载电阻上的电流方向却总是由上至下的。

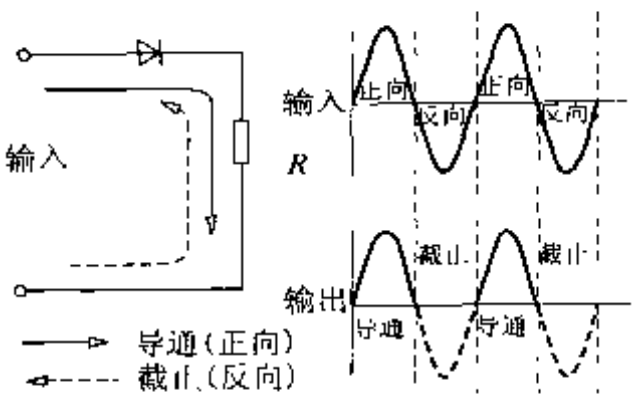


图 2　半波整流

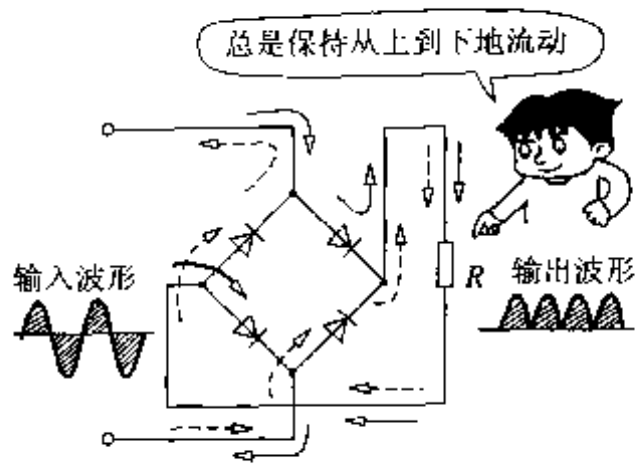


图 3　桥式整流电路

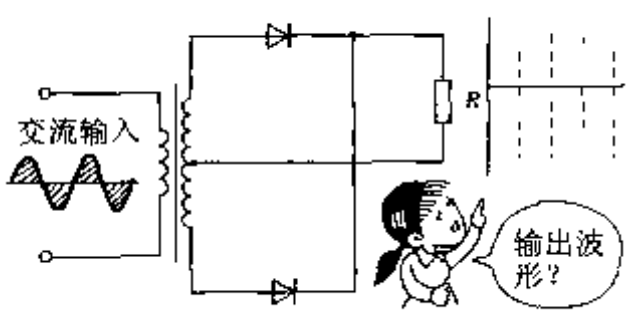


图 4　中心抽头电路

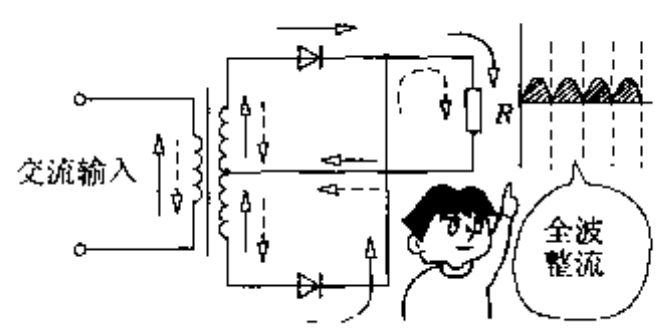


图 5

那么，在这种情况下，采用两个二极管也能构成全波整流啊！

Doc.　我想大家已经清楚了通过合成全波整流波形就可以将交流变成直流。现在，观察一下得到的整流波形，你们感觉到了什么问题啊？

Mako　虽然已经进行了整流，但感觉好像还是交流波形。

Doc.　是啊，既然含有那么多的交流分量，我觉得还是不能使用。

Mako　正是因为要滤除交流分量，尽可能得到纯净的直流来驱动晶体管电路才使用滤波电路的吧！如此看来，滤波电路的存在价值倒是明白了，那么，它究竟是采用什么方法来获得纯净的直流呢？

蓄水坝的稳定输出

Doc.　采用二极管整流后的输出电流，正如你们所看到的那样，并不是平滑的直流电流，有一定的“波纹”，这种电流称为脉动电流。将这种脉动电流转换成尽可能平滑的直流的电路就是滤波电路。试想，作为将这种有波纹的电流转换成固定电流的方法，最好是不是可以先将这种电流在一个大的容器中积攒后再使用，这样不就能够得到比较稳定的电流了吗？

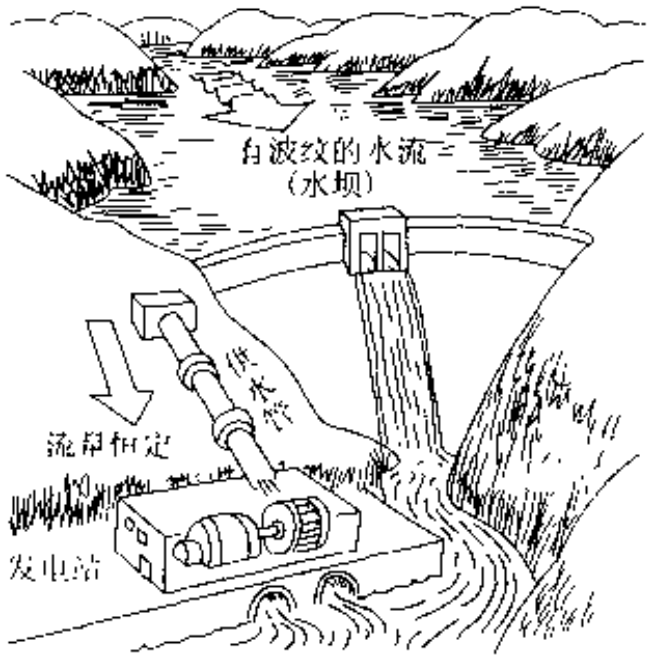


图 6　将有波纹的水流变成恒定的水流

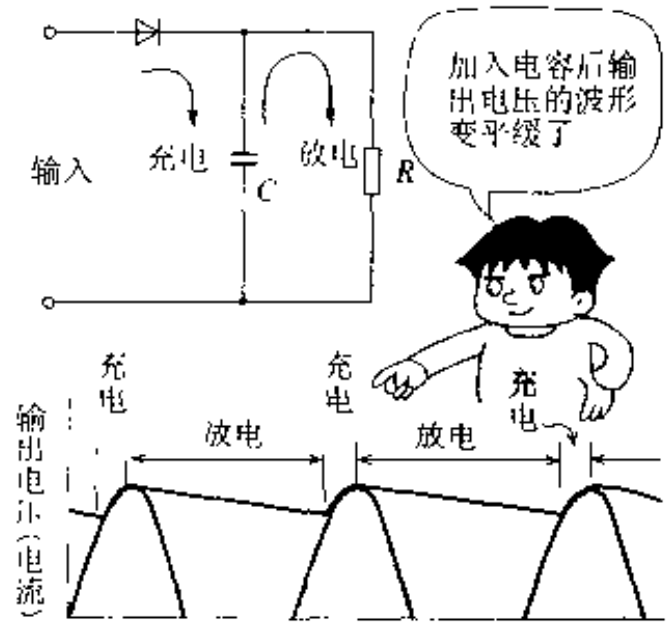


图 7　电容的功能(滤波电路)

Jiro　将这种电流在一个大的容器中积攒后就可以得到一个稳定的电流？我不明白这是什么意思……

Doc.　好，让我们来举一个例子，请看图 6。汇集到水坝中溪流的流量并不稳定，但通过水管流入发电站的水流量却是衡定的。将这种方式运用到滤波电路之中，就可以得到稳定的直流输出了。

Mako　那就是说蓄水的容器越大，得到的直流就越稳定。在滤波电路中，相当于蓄水池的器件，就是存储电能的电池或电容吧。

Doc.　对，在滤波电路中就是采用电容来存储电能的。在图 7 的半波整流电路中就加入了电容，这个电容通过重复充、放电的过程，就可以给负载电阻提供图中用粗线画出的电压和电流，这种波形显然已经接近平滑了。

Mako　我们从一些电路图中看到的滤波电路中，不仅采用了电容，有的还采用了线圈。那么，这种线圈又是起什么作用的呢？

Doc.　它们是图 8 所示的 LC 滤波电路。在整流后的输出波形中，由于混杂有直流分量和交流分量，当需要只取出其中的直流分量时，在整流电路与负载电阻之间必须采取一些措施来滤除交流分量。图 8 中采用自感线圈的原因就

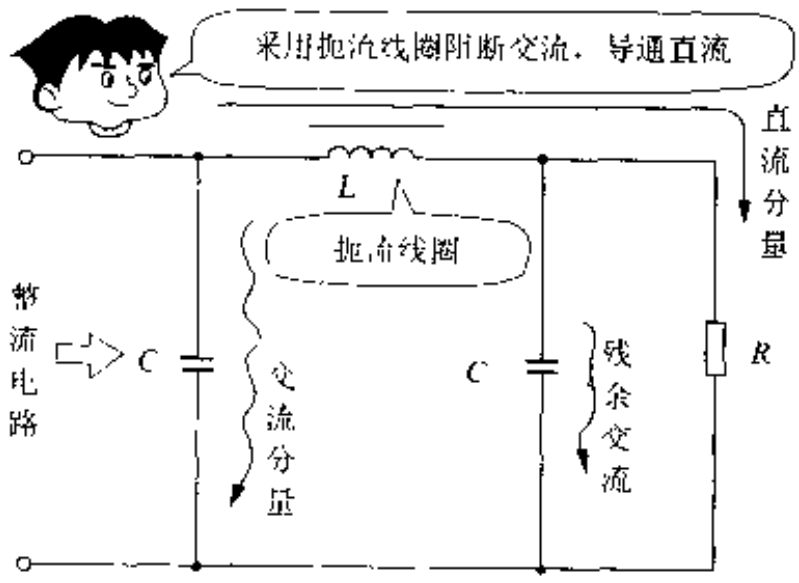


图 8　LC 滤波电路

是利用了它可以阻断交流、允许直流通过的性质。相反地，电容则具有阻断直流而允许交流通过的性质。在图 8 的滤波电路中就采用了这样的一些措施。

Mako　如此一来，如果将多级这种电路接在一起，就可以得到更平滑的直流输出了。

直流输出电压的计算方法

Jiro　前面所做的讨论都是以波形为中心进行的，平滑处理后直流输出电压的大小应该怎样求得呢？

Doc.　好，我们现在就看一个例题。请考虑一下在图 9 的半波整流电路中，直流输出电压应该是多少伏？

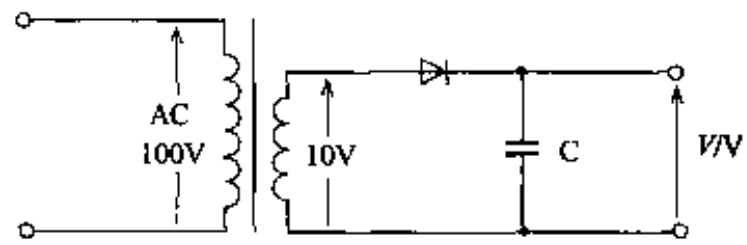


图 9

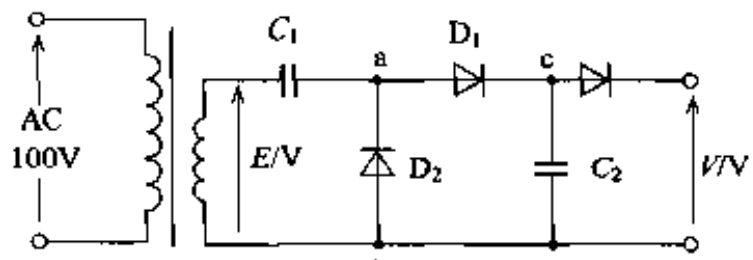


图 10

Jiro　变压器次级输出端的 10V 电压是指有效值。这使我想起了图 7 的输出波形，输出电压应该等于最大值，$V=\sqrt{2}\times 10=14.1(\mathrm{V})$。

Mako　基本上可以将最大值看作电容充放电的直流电压吧。

Doc.　是的。下面来看一下图 10 的整流电路。这个电路中的直流输出电压 V 是多少伏呢？在这个电路中，将输入电压的波形分成正、负半周，并准确求出变压器的次级端电压 E 是求解的关键。

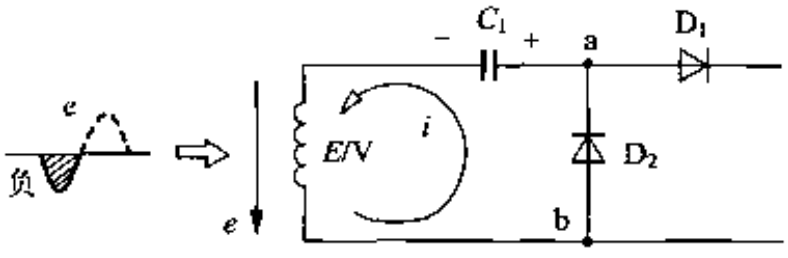


图 11　输入为负半周期时，E 对电容充电

Jiro　若考虑输入波形为负半周的电路工作状态，则电路中只有二极管 D_2 和电容 C_1 工作（参见图 11）。因变压器的匝数比为 10∶1，变压器次级端电压 E 的有效值为 10V，而 a 点和 b 点等电位，因此 D_1 上无电流通过。

Mako　但输入波形为正半周时，如图 12 所示，D_1、C_1 和 C_2 工作。C_2 的充电电压 V=（C_1 的电压）+E=$10\sqrt{2}+10\sqrt{2}=20\sqrt{2}=28.3$(V)。

Dac.　非常好。这就是所谓的倍压整流电路。下次我们将讨论稳压电路的组成结构。

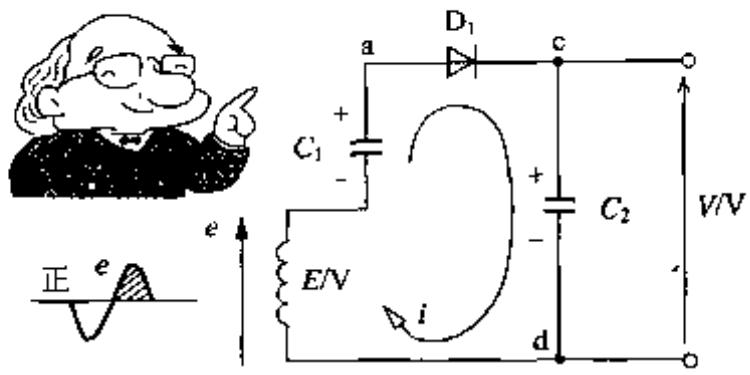


图 12　输入为正半周期时，（C_1 的电压）+（E 的电压）对 C_2 充电

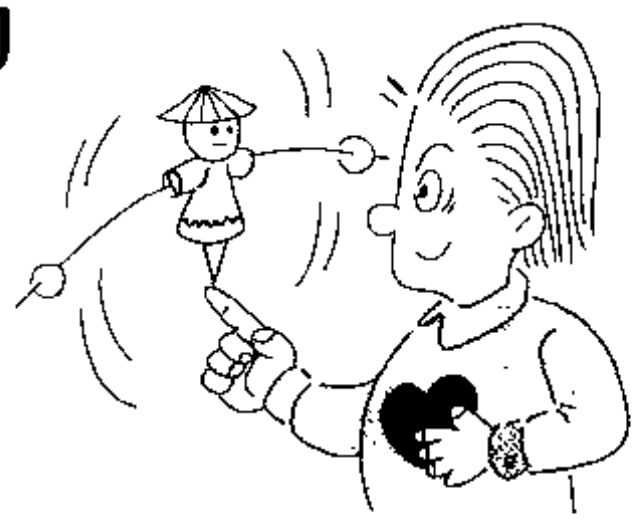
自我挑战

问题　在图 10 的倍压整流电路中，若匝数比为 5∶1，则输出的直流电压是多少伏？

答　V=C_1 的电压 +E=$2\times20\sqrt{2}$=56.6(V)

2 稳压电源电路

——不倒翁的复原力





输出电流过大时，输出电压为什么会发生变化?

Mako　听说音响设备或数字式设备在输出电压发生变化时会产生噪声，或者发生误动作。为了稳定输出电压，应在电子电路中采取怎样的措施呢?

Doc.　这是一个应采用什么方法来保证电源稳定的问题。因为电源是电子电路的心脏，谋求电源稳定是个非常重要的事情。因此，Mako，在讨论这个问题之前，首先请你来思考一下，究竟是什么原因使输出电压发生变化的呢?

Mako　提到它的原因，我觉得可能有很多吧!

Doc.　噢，这个回答可不太明确。好吧，我来给些提示，请看图 1。图中给出的是没有进行稳压处理的直流电源输出的电压和电流的关系曲线，从中能看出些什么问题吗?

Mako　电源电路的输出电压将根据输出电流的大小产生变化，也就是说，负载上消耗的电流大小发生变化时，会引起输出电压的改变。例如，当加大录音机的音量时，因负载电流的变化会导致输出电压也发生变化(参见图 2)。

Doc.　电源电路中，当负载上消耗的电流过大时，将对变压器的阻抗、二极管的正向电阻以及扼流线圈电阻等都会产生影响，输出电压也将下降。

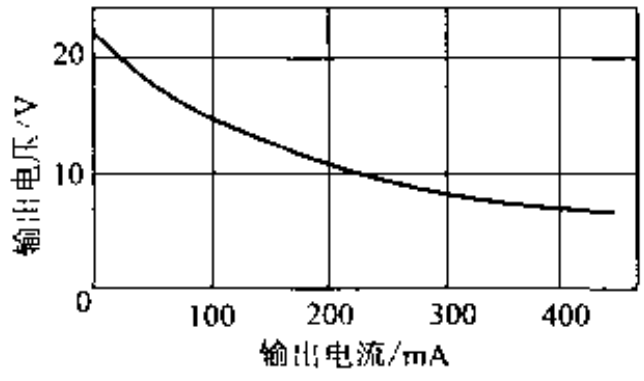


图 1　输出特性



图 2　如果没有稳压电路……

计算求得电压的变化

Jiro　有什么方法能用具体数值来描述输出电压的变化吗?

Doc.　嗯，经常使用的是电压变化率表达式。假设无负载时的输出电压为 V_o，加上负载后的输出电压为 V_L，则电压变化率 α 可由下式给出：

$$\alpha=\frac{V_o-V_L}{V_L}\times 100\%$$

Jiro，请你根据图 1 计算当输出电流为 100mA 时的电压变化率。

Jiro　$\alpha=\frac{V_o-V_L}{V_L}\times 100\%=\frac{23-15}{15}\times 100\%=53.3\%$。

Doc.　Mako，请你计算一下当输出电流为 200mA 时的电压变化率。

Mako　$\alpha=\frac{23-11}{11}\times 100\%=109\%$。咦，负载电流增加到 2 倍，电压变化率怎么变得这么大呢?

Doc.　图 1 给出的关系曲线是没有经过稳压处理的电源电路的输出曲线，因此，就出现了现在这种结果。我想大家已经清楚了这个问题，根据负载端消耗电流的大小不同输出电压会产生相应的变化。当然，即使想减小输出电压的变化，也不可能将二极管和扼流线圈的电阻减小到 0，因此就要使用稳压电路。其中，最简单的稳压电路是采用二极管(齐纳二极管)构成的。

看似损坏却没有损坏的不可思议的二极管

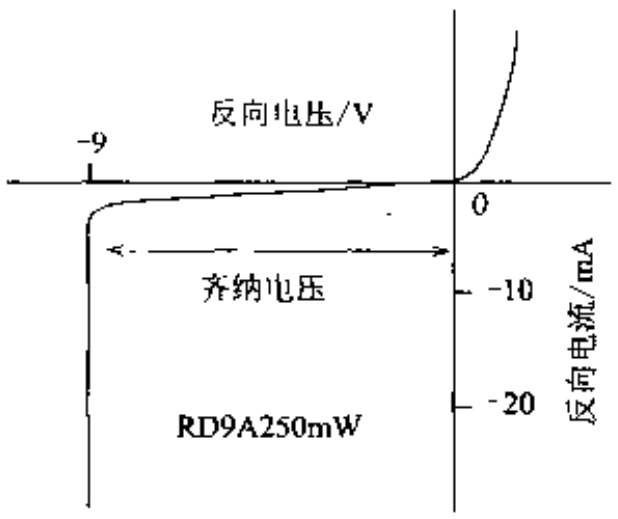


图 3 齐纳二极管的特性

Jiro 为什么二极管可以构成稳压电路呢？

Doc. 图 3 是型号为 RD9A 的稳压二极管的特性曲线。我们知道，二极管在施加正向电压时电流可以轻易地通过，而在施加反向电压时几乎不会有电流通过，不过……

Mako 当加大反向电压时，一旦超过了某个界限，反向电流就会急剧增大，这种现象称为击穿，此时的电压称为齐纳电压。

Doc. 噢，记得很清楚！图 3 的特性曲线非常清楚地说明了这一点。

Jiro 那二极管一旦被击穿不就损坏了吗？

Doc. 普通的二极管有的确实会损坏，而利用硅 pn 结制成的齐纳二极管在齐纳电压范围内是不会损坏的，即使电流发生变化，其电压也可以继续保持在一个固定值上。通常，齐纳电压的值都在几伏至几十伏左右的范围内。图 4 给出了采用齐纳二极管 RD9A 构成的稳压电路示例，大家最好能够实际组装来实验一下。

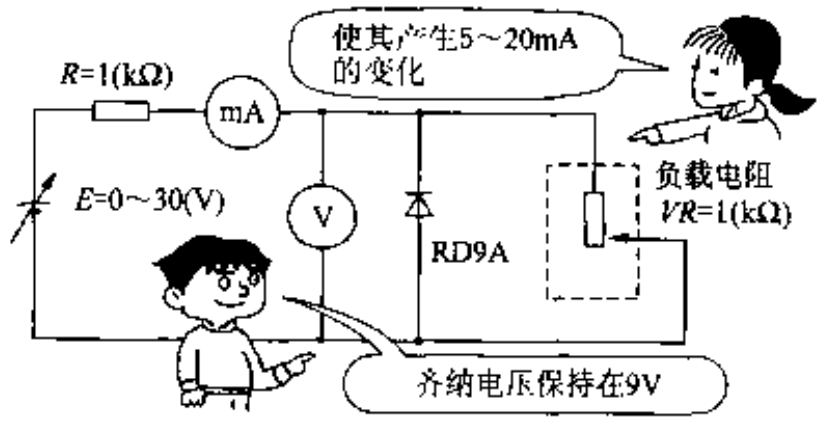


图 4 利用齐纳二极管构成稳定电路

Jiro 是，我想立刻就做一下实验。

Doc. 电源的稳压处理是指即使负载或电源电压发生了变化，加在负载上的电压也能维持不变。请观察图 4 的电路，看它是否满足这种要求。

Mako 首先，将负载电阻定为 1kΩ，令电源电压在 16～25V 间变化，电压表Ⓥ的指针保持在 9V。然后，将电源电压固定，令负载电阻从 1kΩ 降到 400Ω 左右，观察电压表Ⓥ的指示，仍保持 9V。

Mako 噢，我明白了，在齐纳二极管工作的状态下，这个电路的输出电压确实能够保持恒定。

监控输出电压并能自行恢复的稳压电路

Jiro　采用晶体管构成的普通稳压电源电路是什么样的呢?

Doc.　我们已经研究了采用齐纳二极管构成的稳压电路,现在,再来研究一下利用它和晶体管共同构成的稳压电源电路的工作机理。仔细回忆一下晶体管最基本的放大功能后,想一想此电路的工作原理。首先,将各部分的功能划分后,就可以得到图 5 所示框图。

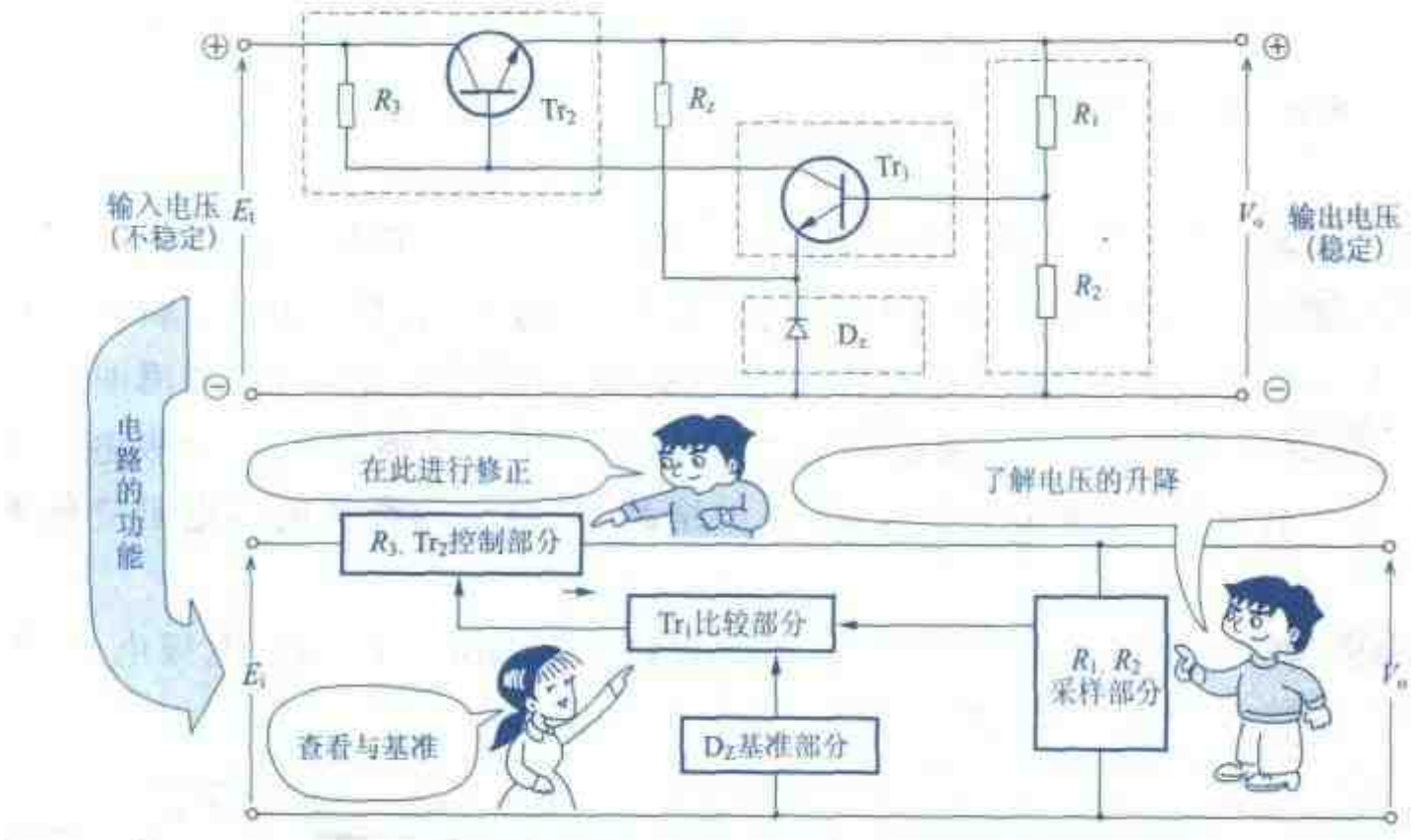


图 5　稳压电源电路和各部分的功能

Mako　晶体管的最主要功能,就是通过控制基极-发射极之间电压来改变流过集电极-发射极之间的电流吧?

Doc.　是的,这应该作为常识熟记于心。至于怎样才能使输出电压稳定,可以从图 5 的采样单元开始"顺藤摸瓜"地去研究。首先,假设由于某种原因使 V_o 增大,则流过采样单元 R_1 和 R_2 上的电流 I 就会增加,电压 V_2 增大(参见图 6)。如果 V_2 增大,那么,V_{BE1} 是变大还是变小呢?

Jiro　V_{BE1} 应该变大,其原因是稳压二极管 D_2 两端的电压是恒定的。也就是说,若 I 增加,V_2 也增大,Tr_1 的基极电位将会升高,因此 V_{BE1} 变大。

Doc.　很好! 那么,如果 V_{BE1} 变大,Tr_1 的集电极电流 I_{c1} 将如何变化?

Mako　若 V_{BE1} 变大,I_{c1} 将增加。

Doc. 非常好！这样一来，R_3 两端的压降 V_3 也会增大(参见图 7)。因此，由于 Tr_2 的基极电压的减小，V_{BE2}将会减小。

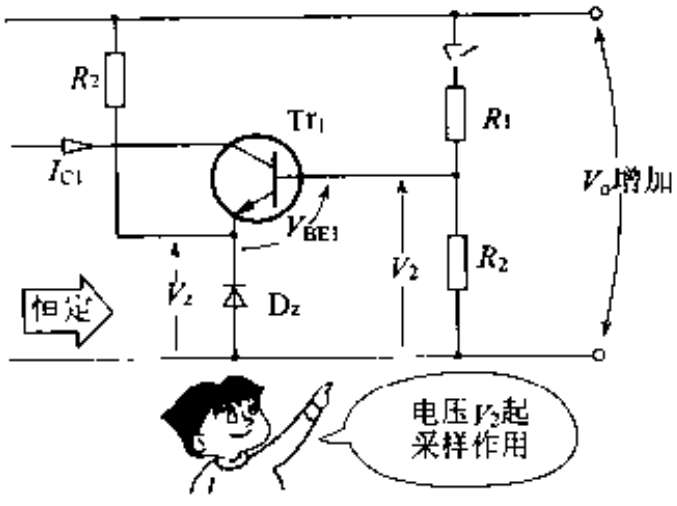


图 6 采样部分和比较部分

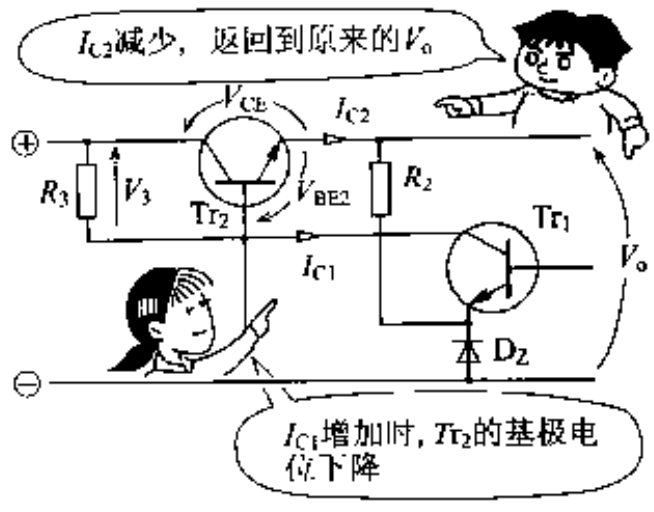


图 7 控制部分

Mako 这就是说图 7 中的压降 V_3 如果变大，Tr_2 的 V_{BE2}就将变小吧？

Doc. 是的。因此，Tr_2 的集电极电流 I_{C2}减小，输出电压 V_o将趋于原值变化。将上述各部分的工作过程归纳起来，就可以得到图 8 所示的流图。

Jiro 这是不是说，通过调整管(起控制作用的晶体管)Tr_2 基极电位的增减(V_{BE2}的增减)完成集电极电流 I_{C2}的增减，就是令调整管内部电阻变化来实现的？

Doc. 这样考虑很好。此外，电源提供电流就是 Tr_2 的集电极电流，因此，这个晶体管需要有较大的功率。

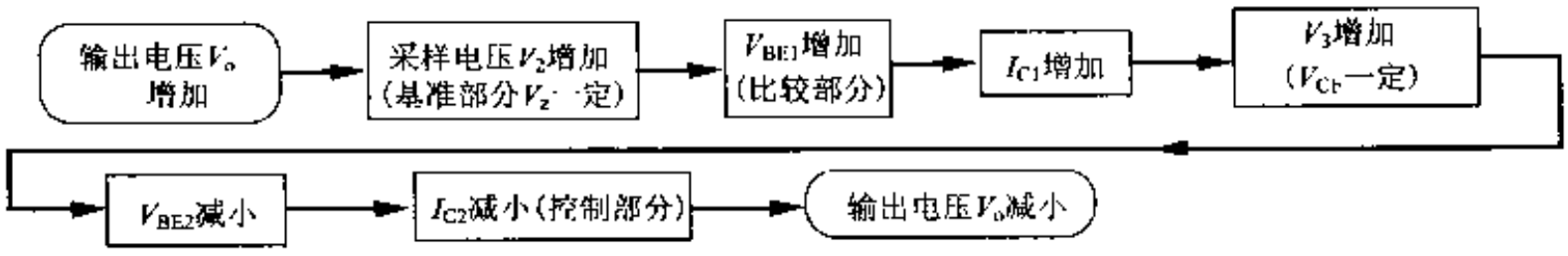


图 8 输出电压变化的调整步骤

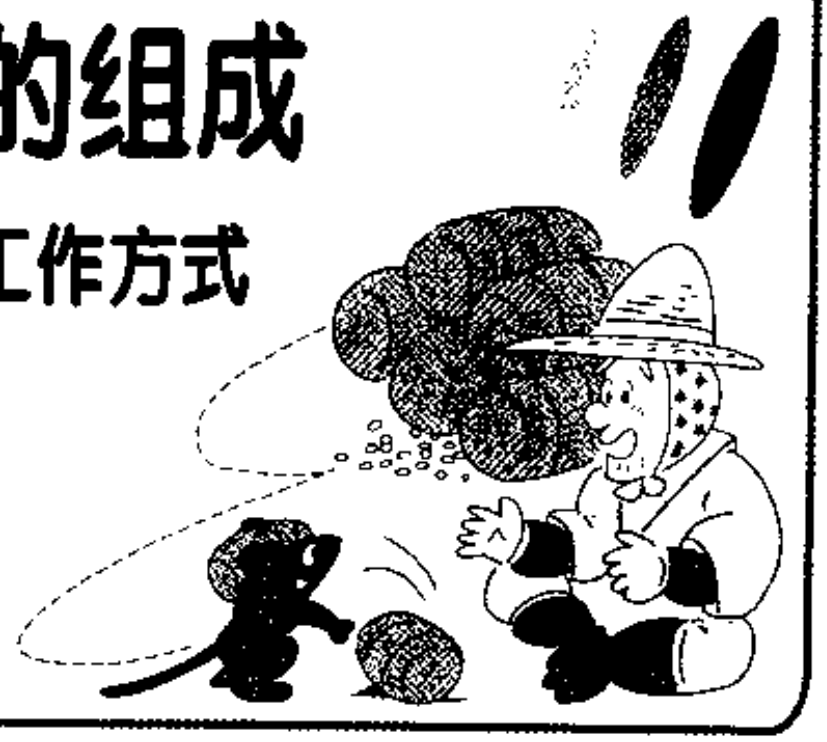
自我挑战

问题 请给出图 8 中的输出电压 V_o减小时的调整步骤。

答 (输出电压V_o减小) → (采样电压V_2减小) → (V_{BE1}减小) → (I_{C1}减小) → (V_3减小) → (V_{BE2}增加) → (I_{C2}增加) → (输出电压V_o增加)

3 振荡电路的组成

——"利滚利"的工作方式









用直流也可以点亮荧光灯

Jiro　前些天我去商店时，发现在灯具柜台正在出售一种照片 1 所示的手提灯。有趣的是，不管是小电灯泡还是荧光灯管（参见照片 2），只要简单地通过开关就可以点亮，非常方便。

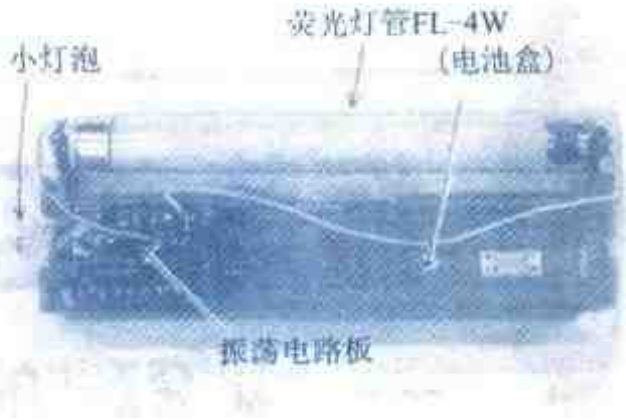
Jiro　干电池的直流电不是不能点亮荧光灯吗？它采用的是什么样的电路啊？

Doc.　给你一点提示吧！电车内的照明灯就是荧光灯，可是 Mako，通过导线从导电弓架引入车内的电力却是直流电的。请你考虑一下送入电车内的直流电和车内荧光灯的关系。

Mako　那么说直流电也可以点亮荧光灯吗？这可有点奇怪啊！是不是在电车内的某个地方能够发出照明用的交流电呢？



照片 1　使用荧光灯管的手提灯



照片 2　利用开关可点亮小灯泡

Doc.　你注意到了问题的关键之处。电车的座位下面有电动机，通过直流电动机驱动交流发电机，进而就转换成了交流电。

Mako　手提灯是从干电池得到直流电力的，为了能够点亮荧光灯，是不是也要转换成交流电呢？

Doc.　简单地讲，这种说法是不错的。不过，手提灯与电车不同，它利用的是晶体管的开关功能，并不能输出纯净的正弦形交流电，而是采用了短脉冲发生电路。

Mako　老师，我想请您说说利用晶体管功能实现的振荡电路是什么样子，好吗？

将扬声器和麦克风连起来会怎麻烦



图 1　振荡现象

Doc.　好。首先来考虑一下什么是振荡现象。大家会经常遇到这种非常熟悉的例子，如果将麦克风对着扬声器的方向，可能会发出刺耳的声响(参见图 1)。

Jiro　确实，有时会吓一跳，要赶紧改变一下话筒的方向。那么，这究竟是为什么呢？

Doc.　刺耳的噪声就是声音振荡产生的现象。如图 2 所示，人的话音传入麦克风，经放大器放大后从扬声器输出。此时，如果将麦克风朝向扬声器方向，或者放置在扬声器附近，则从扬声器播放出来的声音就会再次传入麦克风，自然又被放大器放大，再传入麦克风，再放大，如此循环。

Mako　这样一来，即使说话人的声音停止了，声音也会循环往复地传递下去。输入形成输出，输出又变成输入，永无休止，最终就超出了放大器的限度。这就是振荡现象吧。

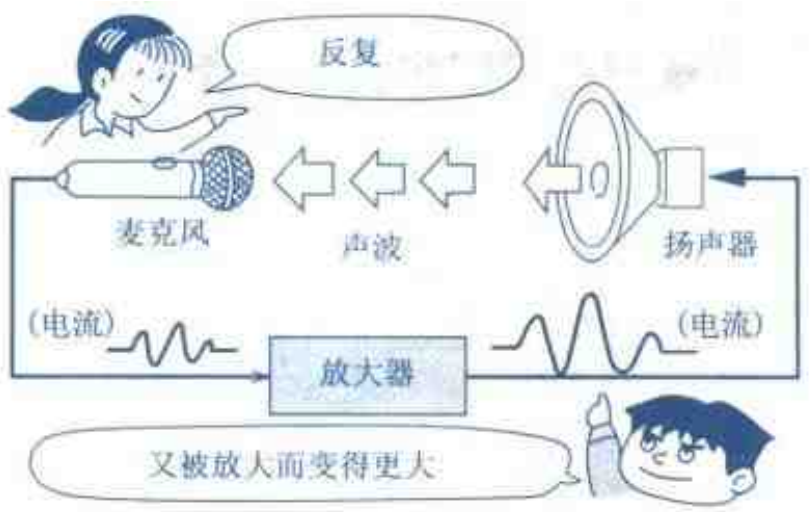


图 2　振荡现象的循环轨迹

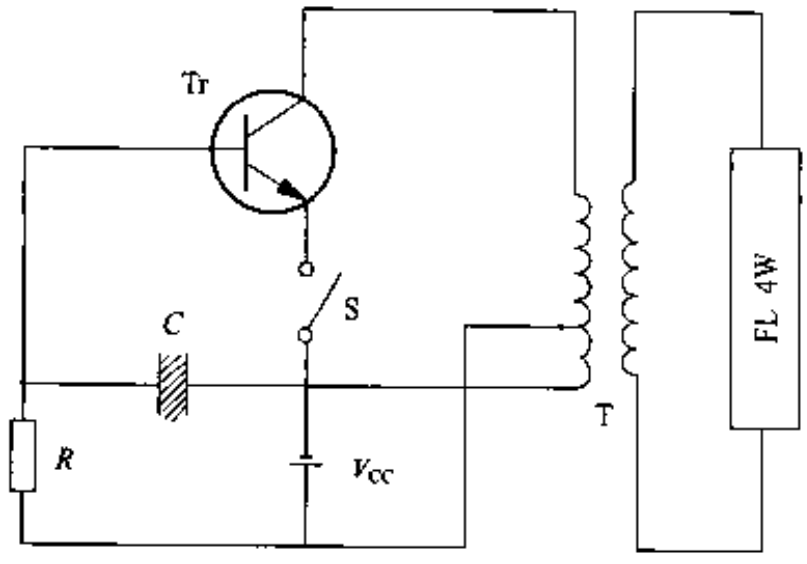
Doc.　这种现象称为自激振荡。在图 2 的电路中，输出（扬声器）和输入（麦克风）通过声波连在一起，将这部分独立出来时，就构成了图 3 所示的将一部分输出反馈给输入的循环通路，这就是振荡电路的工作原理。

Jiro　再回到最初的手提灯话题上来。老师，您已经说明：为了点亮荧光灯，要使用一个短脉冲的发生电路。这是不是说，只要不关闭电源，手提灯中的振荡电路就可以无限制地周期性地产生脉冲呢？



图 3　振荡电路原理

Doc.　是的。我们来研究一下图 4 中能持续产生脉冲的电路。首先想，若关闭图 4 中的开关 S，电路中会流过怎样的电流呢？



V_{CC}：DC6V　T：变压器
C：电解电容　FL4W：荧光灯
Tr：晶体管(npn)

图 4　用电池点亮荧光灯

持续产生电流将会发生什么?

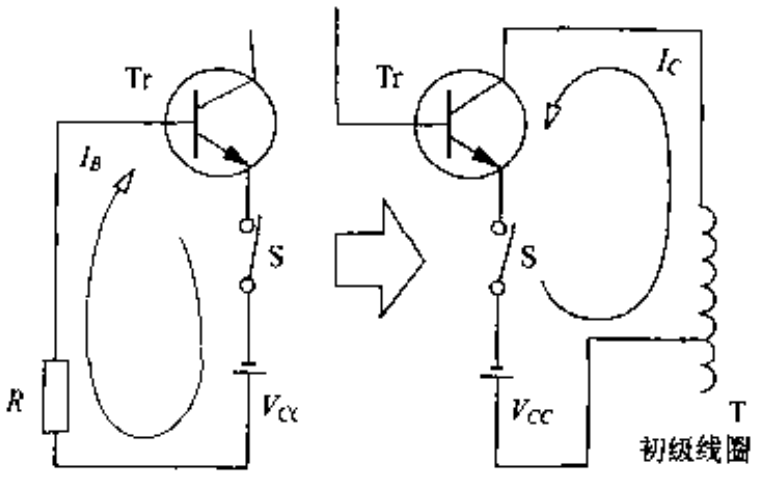


图 5 开关 S 闭合时 I_B 和 I_C 都流通

Mako 当关闭开关 S 时,如图 5 所示,由于晶体管 Tr 中会流过偏置电流 I_B,因此电路中会流过集电极电流 I_C。

Doc. 是的,在这里让我们重新看一下图 4 中的电路,思考这样的问题。Mako,你刚才说过,由于基极流过电流 I_B,因此集电极流过电流 I_C。那么,如果采用某种方法令 I_B 停止,I_C 将会如何变化呢?

Mako 如果 I_B 停止,I_C 也就自然没有了。

Doc. 那么,要是再次流过 I_B,I_C 又会怎样?

Mako 如果流过 I_B 就会有 I_C 流过。老师,您不是在取笑我吧?

Doc. 不,我不是在开玩笑。如果按前面说的采用某种方法能使基极电流 I_B 时断时续,当然也会引起集电极电流 I_C 的断断续续。在这个晶体管的集电极回路中,连接有变压器 T 的初级线圈,那么,线圈中也就应该发生某种变化。

Mako 嗯,变压器 T 初级线圈中的电流时断时续,意味着线圈中的交变磁场会断断续续,……啊,对了! 变压器 T 的次级线圈中会感生交流电场。

Doc. 真聪明! 如果能采用某种方法使晶体管的基极电流 I_B 时断时续,变压器 T 的输出端就会产生高压。希望大家能从图 4 的电路中体会出这一点。

Mako 我很想早点知道这个"某种方法"到底是什么方法。

晶体管只提供起振加速

Doc. 那好,我们再稍微深入研究一下图 4 的电路。看一下图 6,由于基极上流过电流 I_B,当集电极电流 I_C 从变压器 T 的初级线圈流过时,线圈的 a 端和 b 端之间将产生感生电动势,其方向是 a 端为正而 b 端为负,大家明白了吧?

Jiro　我知道感生电动势的方向应该遵循电学理论中的洛伦兹法则。

Doc.　嗯。这个感生电动势将按图 6 所示的极性方向对电容 C 充电。

Jiro　电容 C 中积累的电荷是晶体管 Tr 的基极端为负电荷，线圈一端为正电荷。

Doc.　是的，这一点说得很清楚。若如此，再想一想晶体管的工作状态将会是什么样子呢？

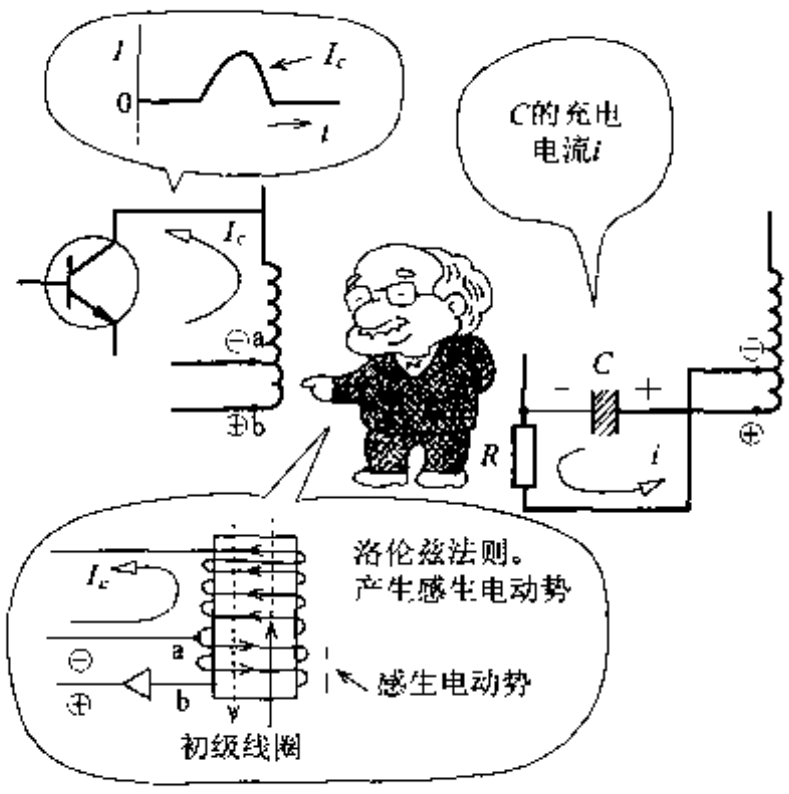


图 6　因 I_C 使线圈 a-b 之间产生感生电动势而使电容 C 充电

Doc.　为了给晶体管提供基极电流，必须在基极-发射极之间施加正向电压。由于此电路中的晶体管 Tr 是 npn 型的，基极是 p 型半导体，发射极是 n 型半导体。为了施加正向电压，基极端子相对于发射极端子必须为正电位，所以，当连接到电容 C 的负极时，基极电流不就停止了吗？

Doc.　Jiro 的结论很好。请看图 7。由于是 npn 型晶体管中，为了产生基极电流，基极对于发射极需要保持一定的电位差，而且基极相对于发射极必须是正电位。不过，当电容 C 上的负电荷端连接到基极时，基极的电位就会下降，基极电流就会消失。因此，集电极电流也随之停止了。

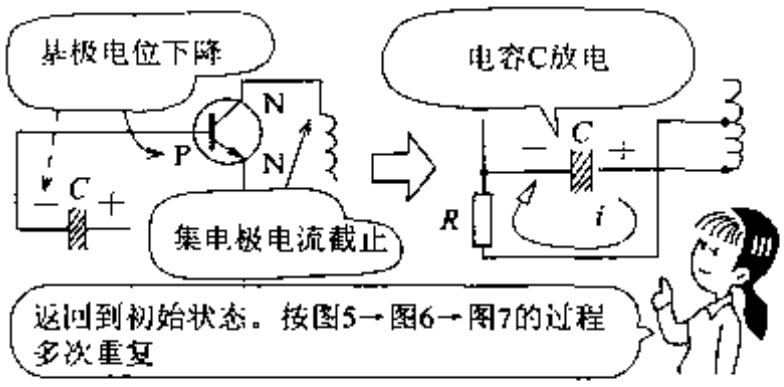


图 7　利用电容 C 充电使基极电位提高，电流截止

Mako　一旦集电极电流停止，电容 C 上的电荷就会通过电阻 R 放电，从而返回到初始状态。也就是说，会无限重复图 5→图 6→图 7 的变化过程，集电极电流就会时断时续，在变压器的次级输出端就会产生高压。

Doc.　能持续产生周期性的电振荡是振荡电路的特征。此时，由于变压器上施加了周期性短脉冲电压，因此在次级端可以获得足够点亮荧光灯的高电压。

Mako　脉冲电压的波形是什么样子呢？

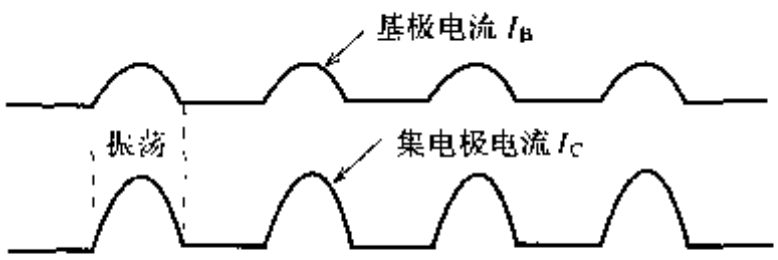


图 8 重复的脉冲电流

Doc. 脉冲电压大致是图 8 给出的波形。应该说，振荡电路中，不是由晶体管自身产生交流，为了使线圈和电容产生的振荡电流能持续下去，晶体管提供了加速功能。

自我挑战

问题 在图 4 的电路中，如果采用 pnp 型晶体管，试问电路将如何工作？

* 提示：使用 pnp 型晶体管时，电池的极性与图 4 电路中极性相反。

答 电容 C 充电时电荷的极性与 npn 型相反，因晶体管的基极为正，集电极电流 I_C 截止。而 I_C 截止时 C 中电荷放电，又开始充电。此后的动作与 npn 型相同。

4 晶振及其用途

——机械形变与电荷的互相转换





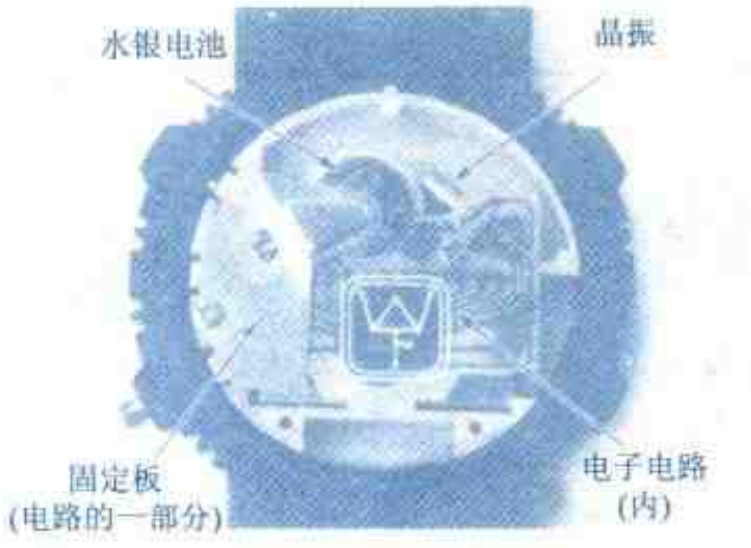
形变则生电
恢复则放电

Jiro　在前节有关手提荧光灯的话题中，已经对振荡电路(振荡器)的性质和动作进行了讨论。由振荡器使我联想到了石英振荡器，我想知道利用石英构成振荡源的有关知识。

Jiro　提到利用石英构成振荡器，可以看看照片 1 中所示的数字式电子表。但是，为什么像石英那样坚硬的石头可以产生电信号呢？这真是有点儿不可思议。



照片 1　数字石英表



照片 2　数字石英表的电子电路

Doc.　好，我们先来看一下晶振。尽管 Jiro 称之为石英振荡器，但只有石英是不能产生振荡的，无论如何要配上晶体管为中心的电子电路才能构成真正的振荡器。因此，单独的石英片称为石英振子或晶振。如果将一块石英表打开，可以见到如照片 2 所示的晶振和电子电路以及驱动电子电路用的水银电池。

Mako　石英又是什么东西呢？

Doc.　石英的英文为 QUARTZ，查阅词典即可知道，也就是指水晶。

Mako　照片 2 中看起来好像是一个小圆筒，想来是其中放入了石英，从而产生电气振荡的吧？

Doc.　让我们仔细地研究一下。晶振的结构如图 1 所示，晶振的两面通过金属真空蒸镀形成电极，并连有导线。此外，图 1 中还给出了图形符号。

Jiro　真空蒸镀是什么意思呢？

Doc.　真空蒸镀是指在真空中将金属加热、熔融，使其蒸发并附着在邻近的物体表面形成金属薄膜的过程。这种晶振会发生称为压电效应的现象，也就是说，按如图 2 所示，当晶振外部压缩和拉伸时，在晶振的表面会产生电荷。

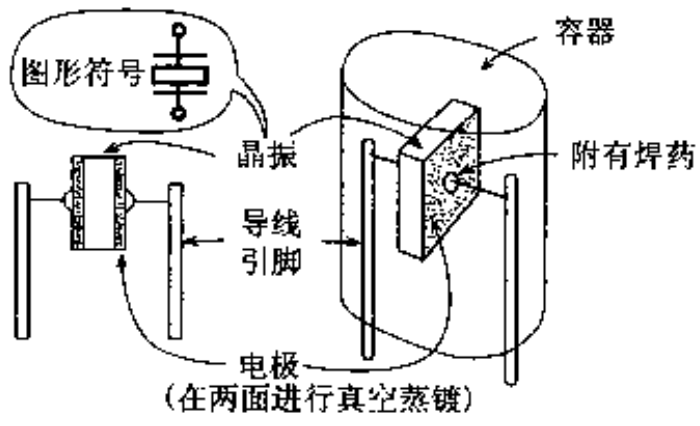


图 1　晶振的结构

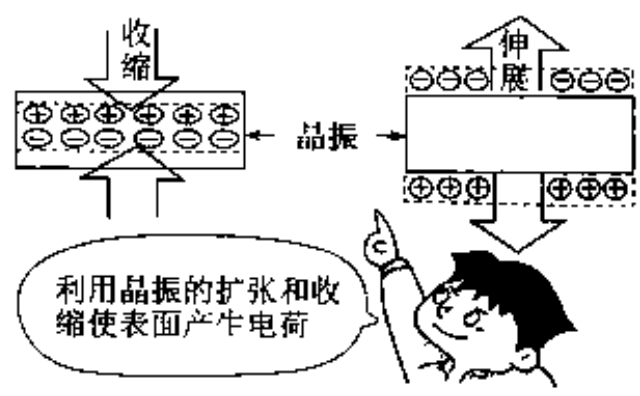


图 2　受力后产生电荷

Doc.　由此一来，晶振的两面会产生电位差。相反地，如果使晶振具有电位差，也就可以使晶振发生伸缩吧？

Doc.　说到了实质性的问题。图 3 给出了晶振上施加电位差时产生的形变现象，只是幅度极小，不能用肉眼看到而已。

Doc.　这与电气特性正好相似。例如，有电流时会产生磁力线，若加上

磁力线并使之变化，则又会产生电流。

Doc.　正是如此。那么，如果由改变电位差而引起的伸缩来控制电源的开闭，是不是用晶振就可以构成闭合电路了？不妨考虑一下在图 4 所示的电路中，将开关 S 从 a 端切换到 b 端的问题。

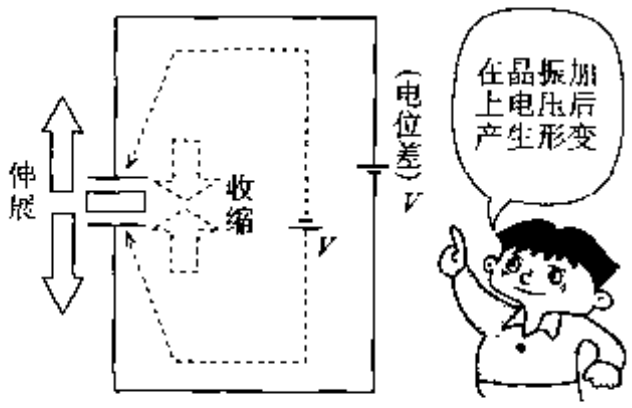


图 3　加电压后产生形变

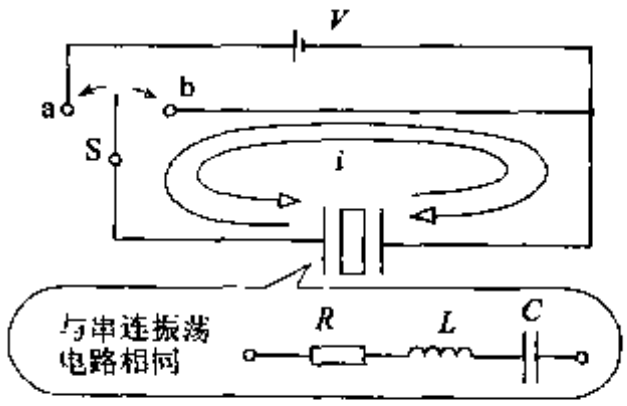


图 4　在晶振上加电压后再断开

为了保持持续振荡必须使用晶体管

Mako　我想应该这样来解释，当晶振上加上电压时会产生微小形变，而去掉电压时又可以恢复原来的状态。当晶振表面产生电荷时，这些电荷也就会释放在闭合电路中。这是一种临时的过渡现象，瞬间即逝，从而形成了图 5 所示的振荡电流。

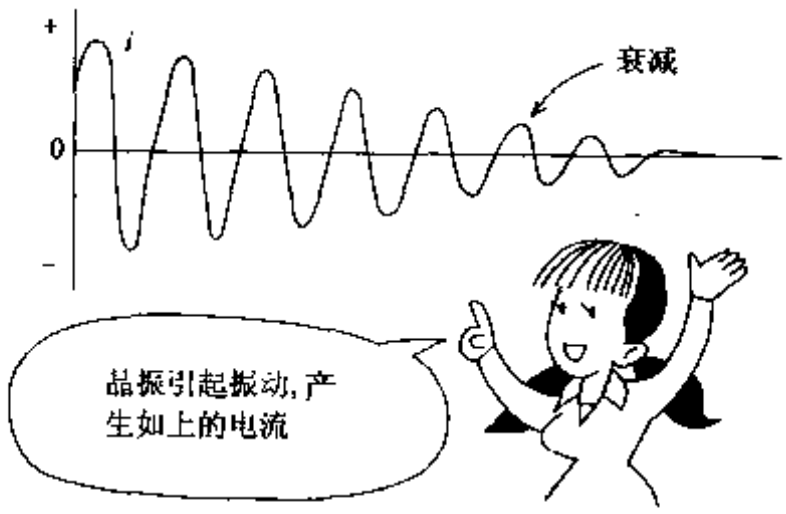


图 5　回路中流动的电流

Doc.　晶振的这种振荡频率由其固有的振荡次数决定，所形成的这种电流与由 RLC 的串连共振电路的共振电流非常相似。因此，可由图 4 所示那样，利用 R、L、C 代替晶振来考虑其电气特性。

Mako　在图 4 所示的电路中，振荡会因逐渐衰减而慢慢消失，因此也就不能作为振荡频率使用，应该怎么办才可以呢？

Doc.　为了能够维持振荡电流的持续性必须借助于晶体管。图 6 给出了原理示意图，在电路中接入晶体管，目的是使电路中总能提供保持持续共振电流的能量。

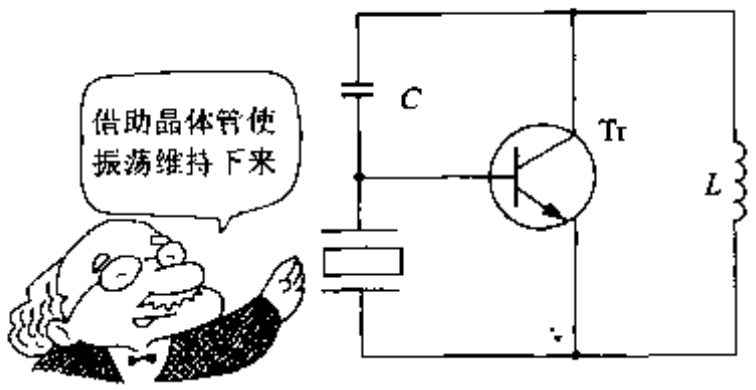


图 6　晶振的振荡原理

Mako　我们已经明白了晶振的振荡原理，请您介绍一下利用晶振电路的石英表的工作机理好吗？

为什么石英表具有高精确度

Jiro　与早期的钟表相比，石英钟表走时更准确。为什么使用晶振就可以得到这么高的精确度呢？

Doc.　钟表的精度取决于作为时间基准的信号的振源频率的大小变化，就是说，在受到某些因素影响使频率发生变化时，频率高的钟表要比频率低的钟表所受的影响相对小一些。机械钟表的振荡频率只有几百赫左右，而晶振频率则可以在几十千赫到几兆赫以上。

Jiro　石英表的晶振频率能达到多高呢？

Doc.　石英表使用的晶振频率为 32 768Hz，即可以产生 32 768Hz 的振荡电流。

Mako　我想，为了表示 1s 的时间，使用 1Hz 应该是非常适合的了。只是如此看来，晶振产生的频率与 1Hz 之间有很大的差距啊，这样说来，数值 32 768是不是还有别的什么特殊含义呢？

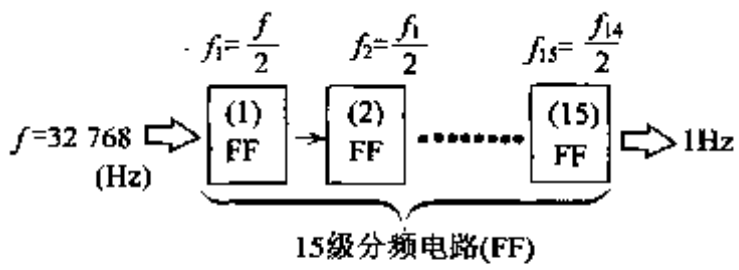


图 7　分频电路的动作

Jiro　是的，事实上，的确还不能直接用晶振频率来显示时间。最初将晶振频率做得很高是因为这样做能得到较高的精度，在显示时间时只需用 1Hz。

为此我们需要进行分频处理。所谓分频电路也称为计数器，其功能

就是将某一频率的交流信号降低整数倍后得到新频率的交流信号。石英表的32 768Hz就是利用分频电路将原频率进行二分频(将频率降低到一半),像图7所示的那样处理15次,从而形成1Hz的脉冲波。分频电路都由触发器电路构成,关于这些问题以后再找机会说明。这里应特别注意的是,32 768Hz的振荡电流通过15级触发器电路后,就生成了1Hz的脉冲电流。这种电流就可以用来显示时间了。

Mako　说到石英表,不是既有数字式的也有使用指针的机械式(模拟式)的吗?

Doc.　Mako,不知道你现在使用的是哪一种,我们不妨来看一下石英表的工作过程。如图8所示,不管是数字的或是机械的,电子电路中由振荡至分频的内容都是一致的。数字式石英表在分频以后,为了采用液晶表示,还需要插入计数器、分配器和驱动电路等电路。

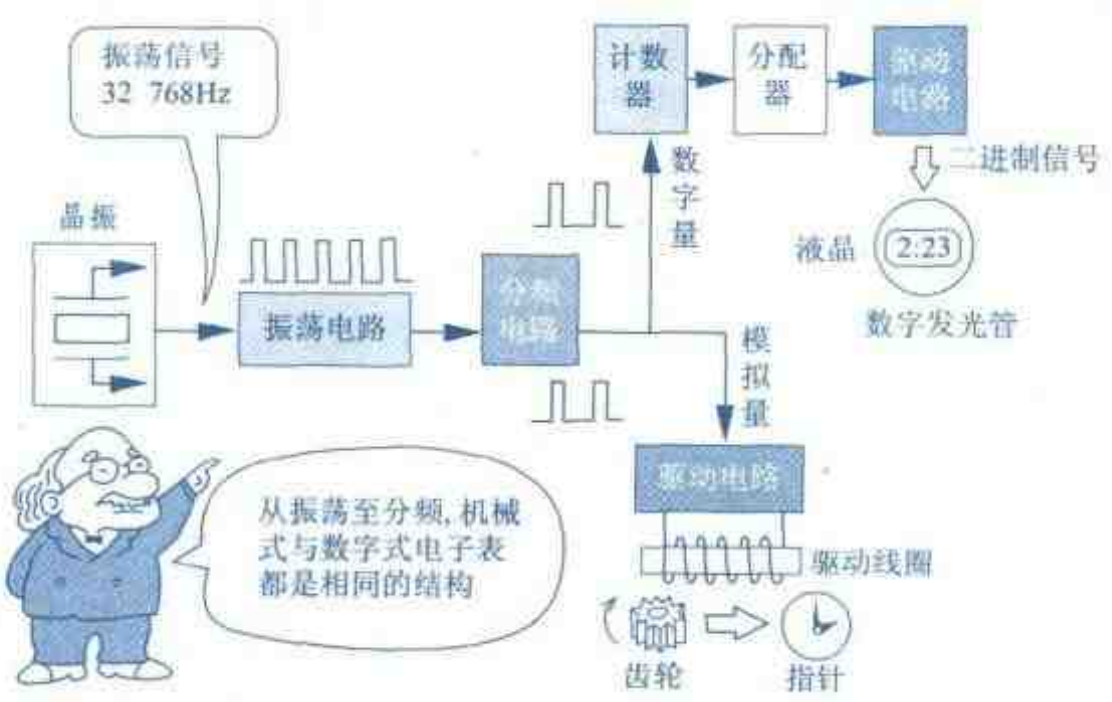


图8　石英表的工作原理

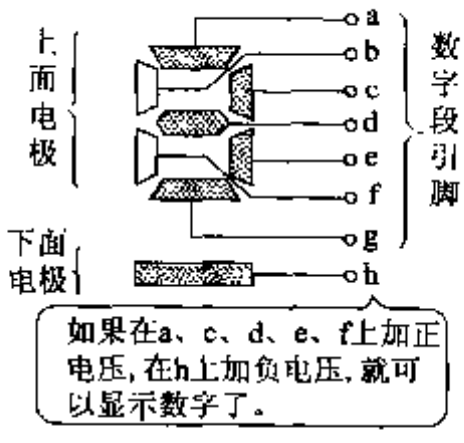
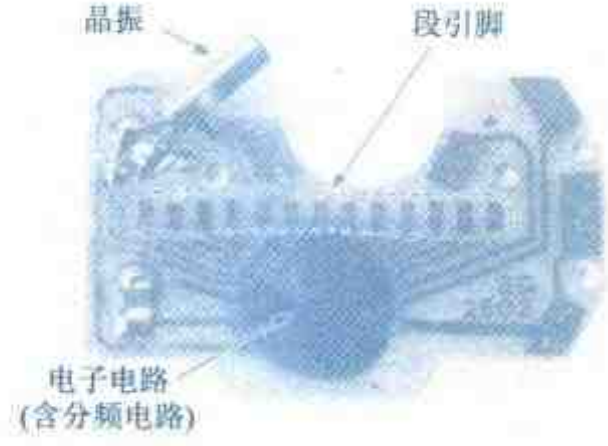


图9　数字发光管



照片3　液晶面板及其上的发光管

对于机械式钟表，在分频后要利用驱动电路进行放大，使脉冲电流通过驱动线圈，使转子转动以带动指针移动。

数字式钟表的计数电路负责将来自分频电路的 1Hz 信号，即 1s 的信号分为 10 个 1s 信号为 10s，6 个 10s 信号(60s)为 1min，再送给分配器。

分配器依据由计数电路传来的二进制信号控制液晶面板上数字发光管的哪一段被加上电压，再利用驱动电路去实际执行(参见照片 3 和图 9)。

自我挑战

问题 对 32 768Hz 的脉冲波进行分频，若将频率进行 10 次二分频，则可以得到多少赫[兹]的脉冲波？

答 $\frac{f}{2^{10}}=32\ 768\times\frac{1}{1024}=32(Hz)$

5 晶闸管的运用

——能够左右开攻的"开关击球手"

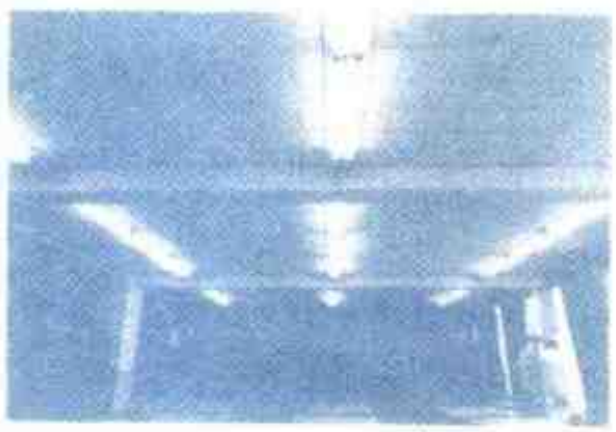




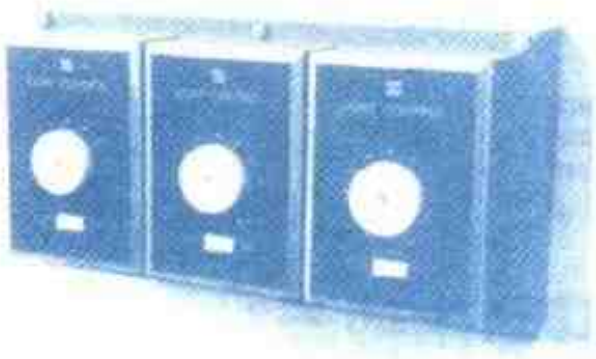
用 5 层 pn 结半导体可构成晶闸管

Mako　在我们学校实验室里的照明设备(照片 1)很有意思，只要旋转置于屋角的如照片 2 所示的圆形旋钮，就可以自由调节灯的亮度。总不能是因为使用圆形旋钮就能改变亮度，这到底是什么原理呢？

Jiro　仔细观察照片 2，上面还写着电灯控制器(LIGHT CONTROL)字样呢，就是调光器。难道这里也使用了晶体管吗？



照片 1　实验室的照明



照片 2　调光器的旋钮



照片 3　晶闸管(TRAIC)

Doc.　虽然到目前为止我们一直学习的是晶体管，不过，这次介绍的却是晶闸管。

晶闸管(TRIAC，双向晶闸管)这种元件的名称是由 TRIode AC switch 得来的。那么，既然是用三端(TRIode)器件和 AC 开关组合而成的，由此可以想到什么呢？

Mako　TRIode 的含义是三极，那就是具有三个引脚的交流开关吧？

Doc.　嗯，基本上就是这个意思，这种晶闸管是调光器中的主要器件。从照片 3 看上去它与晶体管极为相像，但结构却是不同的。

Mako　那有什么差异呢？

Doc.　晶体管是由 p 型半导体和 n 型半导体组成的 pnp 型或 npn 型，而晶闸管则是用 5 层 p 型和 n 型半导体叠加出来的(参见图 1)。

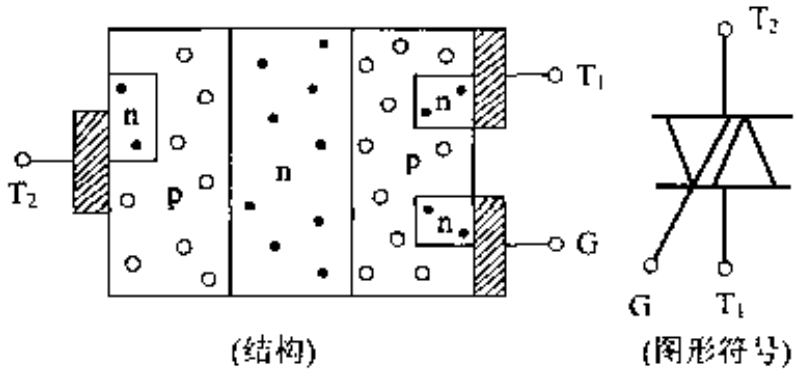


图 1　由 5 层构成的晶闸管和图形符号

Jiro　咦，用 5 层制造出来的？那晶闸管就是一种像"五重塔"式的半导体器件了。那又应该如何使晶闸管工作呢？

Doc.　请看图 1。晶闸管是这样构成的：不管是从 T_2 端来看 T_1 端，还是从 T_1 端到 T_2 端，都是 pnpn 形式排列的。只是单纯地在 T_1 和 T_2 之间加上电压时并不能使电流导通，这里只要思考一下 pnpn 的排列方式，就可以理解其中电流被截止的原因。

Mako　我想，无论是加上正向电压还是反向电压，必然在"行进途中"要遇到从 n 型到 p 型的"路障"。

Doc.　是的。那么，如果能够清除由 n 型到 p 型的"路障"，自然也就可以使晶闸管导通了。为此，可以在 G 端和 T_1 端之间输入电流，即增加第三个

信号。观察图 2 能想到什么呢?

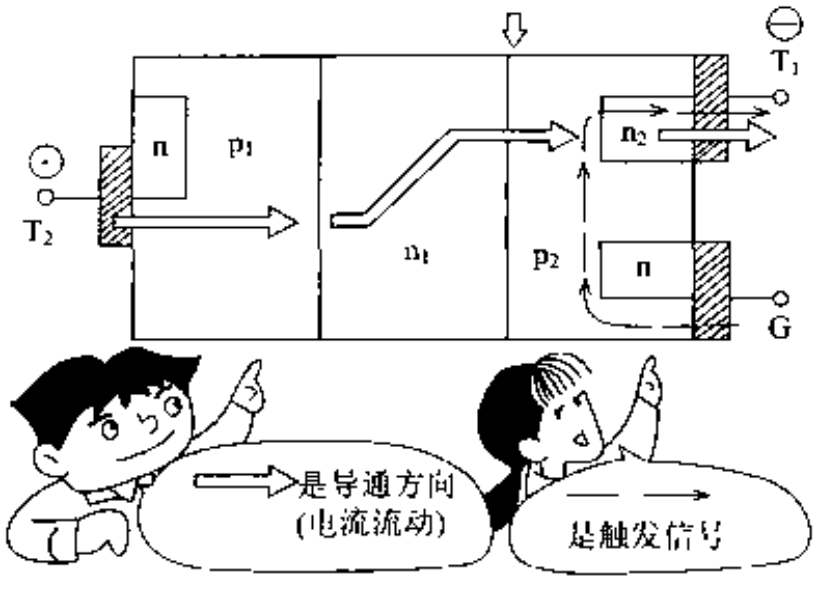


图 2　T_2 和 T_1 分别加正、负电压时(T_2 至 T_1 导通,触发信号由 G 加给 T_1)

从交流到交流

Jiro　在 T_2 端和 T_1 端分别加上正、负电压,再在 G 端到 T_1 端加入触发信号时,因为信号电流的作用,即可使晶闸管在箭头方向(n_1 到 p_1 的"路障"被清除)导通了。

Doc.　重要的是,施加触发信号的目的是使得电流经过的通路更为顺畅(参见图 3)。

Mako　若在 T_1 端加正电压,T_2 端加负电压,并给予 T_1 端到 G 端的触发信号,也可以形成电流通路吧?

Doc.　是啊,晶闸管的特点是耐压很高,但只要在 G 端通过很小的电流,马上就可以使正向的"门"被打开。

还有在结构上比晶闸管稍微简单并具有相似性质的半导体闸流管(单向晶闸管)。闸流管和晶闸管只用 1～50mA 的微小的触发信号电流即可驱动,这比需要 100A 的驱动电流的晶体管要敏感得多。

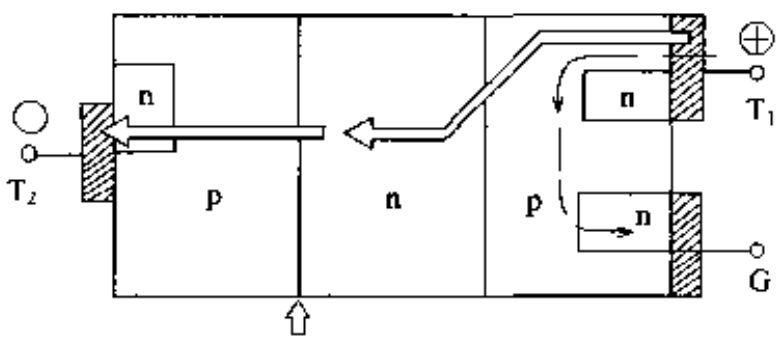


图 3　T_1 和 T_2 分别加正、负电压时(T_1 至 T_2 导通,触发信号的方向从 T_1 到 G)

现在来说明一下使用晶闸管的调光器。要弄明白究竟是什么原因使晶闸管可以控制灯泡的亮度,可参考图 4 给出的原理示意图。

Mako　老师,在图 4 中所画的与晶闸管图形符号非常相似的触发二极管是什么东西呢?

Doc.　触发二极管是给晶闸管加上触发信号所必须的器件,它与普通的二极管不同,是一种双向都可以导通的二极管。

照片 4 是触发二极管的实物照片,使用表笔做一下导通试验,还是蛮有意思的。将表笔搭到二极管上,不管哪一个引脚接正极,都会有瞬间的电流通过,但随后又停止了(参见图 5)。

Jiro　尽管触发二极管只在瞬间有电流通过,但也可以使晶体管被导

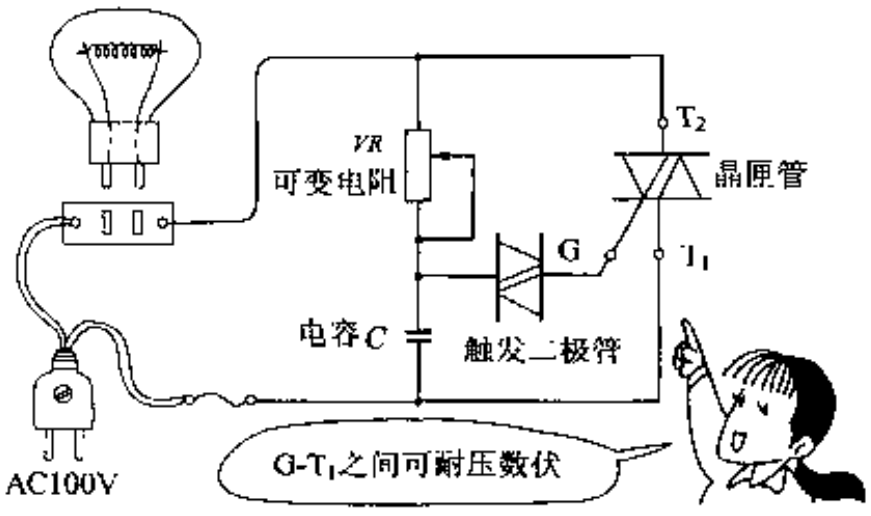


图 4　调光器原理



图 5　触发二极管无论怎样接都会瞬间导通



照片 4　触发二极管

通，且随着电压极性的改变，就可以总保持导通状态了。

Duc.　是这样。再看一下图 4 中的电路，考虑一下它的工作过程。

在图 4 中，接通电源时，在与可变电阻 V_R 并联的电容 C 中，根据电源电压的极性变化来积蓄电荷。现在，如果电压具有图 6 所示的极性，则电容 C 被充电，而充电后的电荷不久又会放电。那么，电容在什么时刻会放电呢？

Jiro　电容 C 放电是在触发二极管的电压较高，不能阻止放电时进行的。因此，我想放电应该是在电容充电使电压上升时发生的。

Duc.　正是如此。此电压称为触发二极管的触发电压。当电容 C 的电压达到触发电压时，由图 6 所示，在电容 C 中积蓄的电荷就会通过触发二极管、G 端和 T_1 端组成的闭合回路进行放电，使晶闸管得到触发信号，从而使 T_2 和 T_1 之间导通。

Mako　如果电容 C 的充电极性反转时，如图 7 所示，晶闸管的导通方向也应该是相反的吧？

为什么亮度能够变化

Duc.　是的。这种调光器电路工作中的重点是确定传递触发信号的时刻。若提早发送触发信号，晶闸管就会被提前导通，使电流大量地流过，灯泡就被以很高的亮度点亮。那么，想想看，要想将触发信号提早送出应怎么办呢？

Mako　我认为如果使电容 C 的电压及早达到触发二极管的触发电压，就可以及早送出触发信号。这样说来，可以通过对 C 进行充电的早和晚来决定

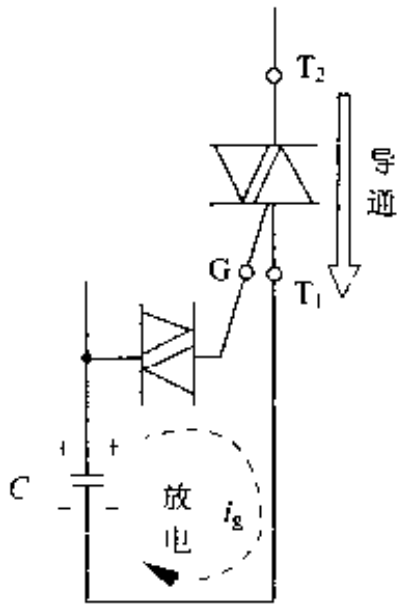


图 6　触发二极管导通(G→T_1)

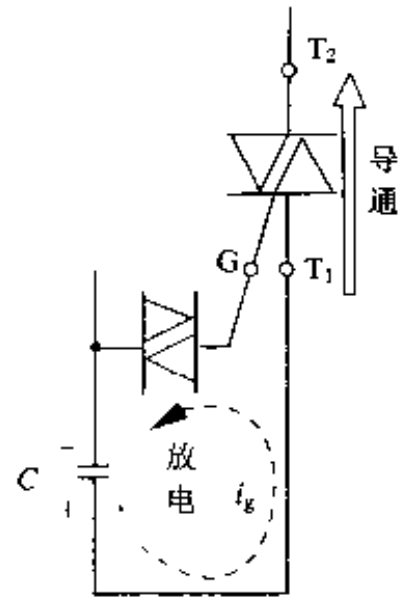


图 7　触发二极管导通(T_1→G)

晶闸管的导通时刻。

Doc.　是的。那么，要说能够促使 C 及早充电，图 4 所示的电路中的关键部件是……

Jiro　可变电阻 *VR*。利用 *VR* 从最大值变化到最小值，就可以任意地改变电容 C 两端电压达到触发二极管的触发电压的时刻。

Doc.　因此，旋转可变电阻 *VR* 的圆形旋钮，就可以控制灯泡的亮度了。利用波形的变化来观察一下这种状态变化是有益的。

迄今我们所讨论的是白炽灯的调光器原理，利用这种电路还不能控制学校的照明等用的荧光灯。尽管荧光灯的调光器也应该了解，但在此之前我们还需要一些准备知识。

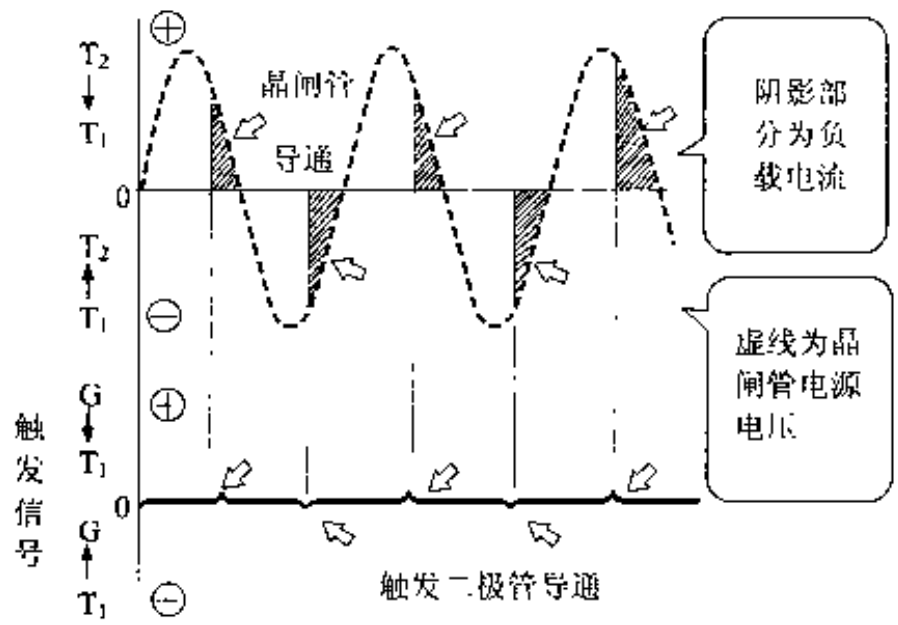


图 8　利用晶闸管的控制阴影部分为流经灯泡的电流

自我挑战

问题　**图 4 所示的调光器电路中的触发二极管的作用是什么?**

答　触发二极管两端的电压升高时,可以超过触发电压,产生瞬间的强脉冲电流。这种电流通过晶闸管的栅极(G 端),使电路的主电流导通。

6 多谐振荡器

——跷跷板一样的电子开关



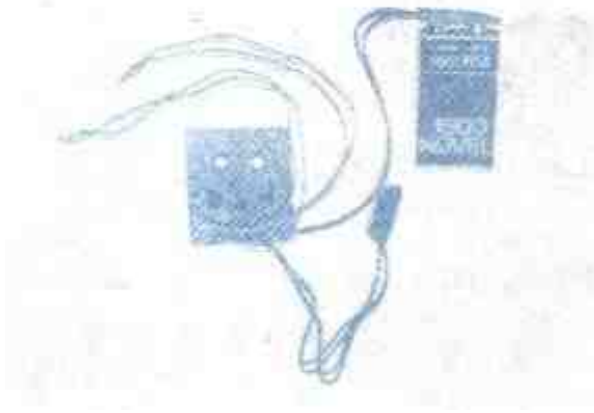


使灯泡交替闪亮的神奇电路

Jiro　我在学校实验中制作过照片 1 所示的电子电路，接通电池的开关后，两个小灯泡会忽闪忽闪地反复交替闪亮。

Mako　让我来打开开关。啊呀，小灯泡还真的忽闪忽闪地亮了。只是接通了电源却没有任何其他的动作，就能这么容易地使它们的亮度变化，真有意思。

Doc.　这个电子电路的动作取决于晶体管的开关作用，就如生活中的跷跷板一



照片 1　控制 2 个灯泡交替闪亮的电子电路

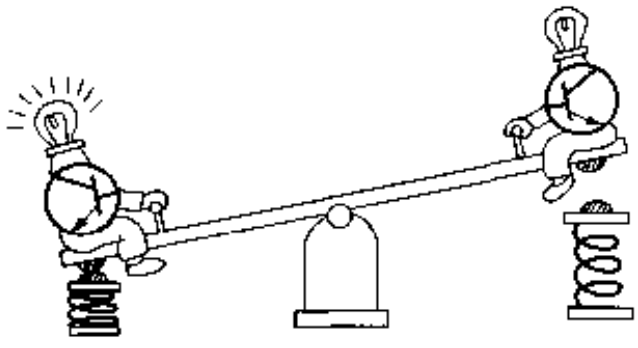


图 1 跷跷板一样的电子开关

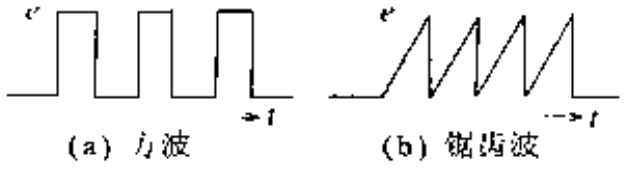


图 2 脉冲波示例

持续时间非常短的电压和电流，一般描述成有如图 2 所示的变化的波形。那么，请看图 3，使开关的变化先由状态(a)到状态(b)，再返回到状态(a)，灯泡的明暗状态如何变化呢？

Jiro 先是灯泡 X 点亮，再是灯泡 Y 点亮，X 和 Y 交替点亮和熄灭。这样的话，我制作的电路就与图 3 的(a)和(b)两种状态反复转换的效果一样了。

样，利用两个晶体管作为开关使其交替动作(参见图 1)。

Jiro 尽管我把电路制作的挺好，但是，灯泡到底是为什么闪亮却不是十分了解。

Doc. 事实上，具有这种功能的电路称为非稳态多谐振荡器电路，通常作为脉冲波的发生电路使用。现在，我们全面讨论一下有关这种电路的工作过程。

Mako 脉冲波是什么样的波呢？

Doc. 所谓脉冲(pulse)，词典上的原意是指像脉搏般短暂起伏的现象，现用来指

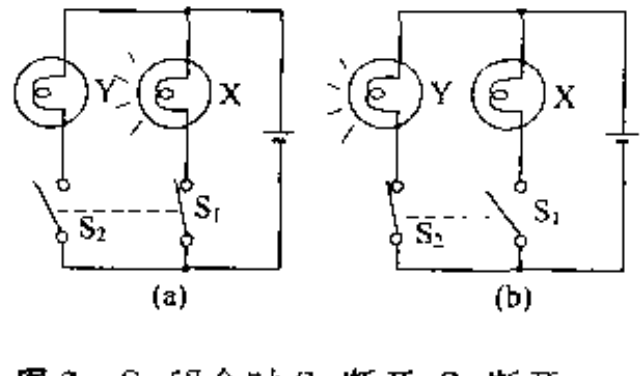


图 3 S_1 闭合时 S_2 断开，S_1 断开时 S_2 变闭合，于是 X 和 Y 交替闪亮

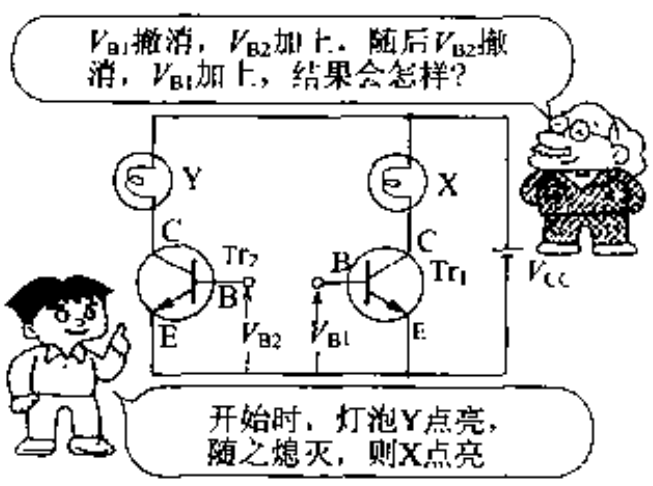


图 4 用晶体管 Tr_1 和 Tr_2 置换开关 S_1 和 S_2

Doc. 是的。现在请注意，如果考虑用两个晶体管来代替其中的开关 S_1 和 S_2，并使之具有同样动作，此时所得到的电路也就是多谐振荡器电路。参考图 4，图中所示就是将图 3 的电路中的开关用晶体管替换后的电路。

此晶体管是 npn 型晶体管。应该说，不管什么型的晶体管，对于基极(B)-发射极(E)之间的电压 V_B 来说，若基极端为正而发射极端为负，则集电极(C)-发射极(E)之间将会导通。

Jiro 导通也就相当于开关闭合吧！

Doc. 不错。现在，若不加电压 V_{B1}，只加上电压 V_{B2}，就只有灯泡 Y 亮了。

Mako　相反地，若不加电压 V_{B2} 而只加上电压 V_{B1}，就应该只有灯泡 X 亮了。也就是说，电压 V_{B1} 和 V_{B2} 中若一方停止、一方加上这样交替地进行，灯泡 Y 和 X 也会交替点亮和熄灭，变成跷跷板一样的状态。在使用开关 S_1 和 S_2 时不过是手工操作。我想知道，使用晶体管时又应如何控制才能使 V_{B1} 和 V_{B2} 交替地有无呢？

巧妙地利用晶体管的开关作用

Doc.　下面的说明就是这个电路的关键之处。请看图 5。将开关 S 断开时，因直流电源 V_{CC} 通过 R_2 而使晶体管 Tr 的基极加上正电压 V_B，从而形成 Tr 的集电极电流 I_c（Tr 导通）。你们看一下，此时图 5 中的灯泡 X 以及 V_{CE} 又如何变化呢？

Mako　因为 Tr 导通，灯泡 X 点亮，且我觉得电压 V_{CE} 可以看作 0。

Jiro　此时，电容 C 通过图 5 中虚线所示的电路进行充电，积蓄如图所示的电荷。

Doc.　接下来，如图 6 所示的那样，闭合开关 S，电路中又会发生什么样的变化呢？

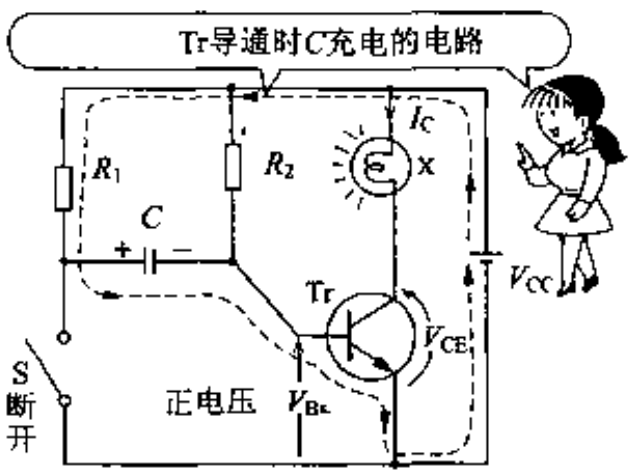


图 5　晶体管导通时灯泡点亮

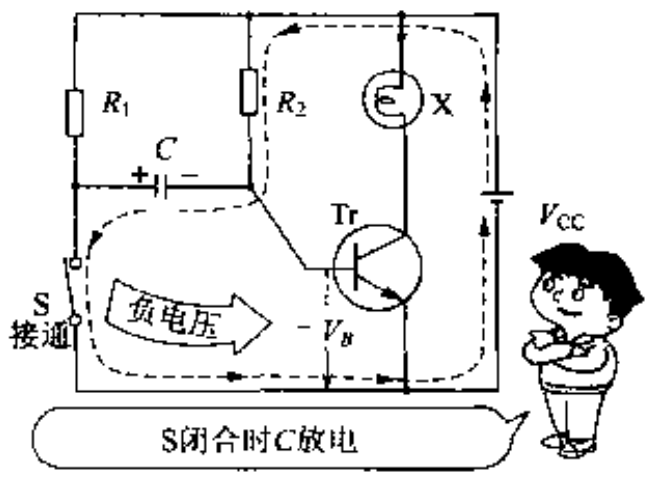


图 6　晶体管通断时 C 放电

Doc.　开关 S 闭合时，晶体管 Tr 的基极所施加的电压是因电容 C 已充电而形成的负电压（$-V_B$）。因此，Tr 不再导通（Tr 的集电极-发射极之间没有电流），使灯泡熄灭。

Jiro　嗯，很有道理。那么，如果就依据图 6 所示，将 S 一直闭合着，又会怎么样呢？

Mako　啊，电容 C 积蓄起来的电荷沿图 6 中虚线所示的电路放电，于是又会导致晶体管 Tr 的基极电压产生由负到正的变化，Tr 被导通。此时，若断开开关 S，则会重新形成图 5 中虚线所示的电流，使电容 C 被充电，返回到初始状态。

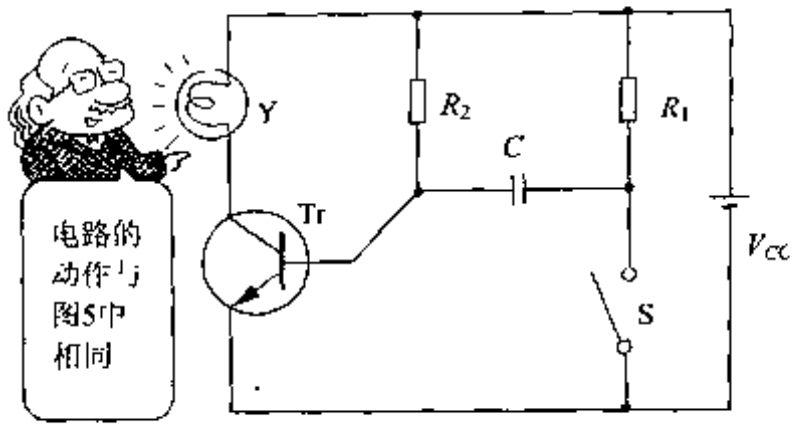


图 7　与图 5 对称的电路

Jiro　在图 5 中，当 Tr 处于导通状态时（电珠点亮），若将开关 S 闭合，由图 6 所示，必然使 Tr 的导通状态截止（灯泡熄灭），而电容 C 的放电结束时，就会使 Tr 自动返回到导通状态（灯泡点亮）。

Jiro　好，若将图 5 中的开关 S 和晶体管 Tr 的状态颠倒，如图 7 所示，电路中的工作状态应该怎么变化呢？

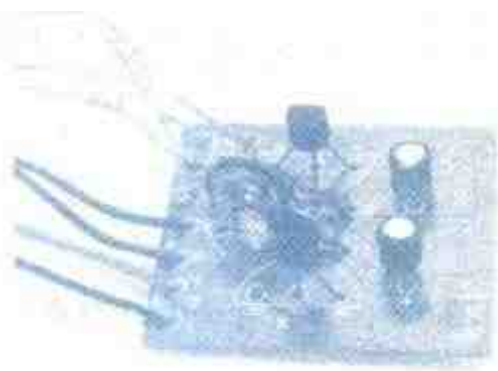
Mako　我觉得电路的工作过程应该与图 5 完全一样。

使对手休息而自己工作，晶体管的联手游戏

Doc.　是的。图 5 和图 7 左右对称，而工作过程是相同的。现在，我们考虑将图 5 和图 7 重叠，并用 Tr 替换掉 S 而构成的电路，参见图 8，这就是所谓的非稳态多谐振荡器。

Mako　照片 2 所示电路是我制作的多谐振荡器电路。

Doc.　我们现在利用图 8 至图 11，边看边想，充分理解一下多谐振荡器的工作过程，以使我们的认识更清楚一些。在图 8 中，Tr_1 处于闭合状态，Tr_2 处于断开状态，加到 Tr_2 的基极的是来自 C_1 的负电压。



照片 2　非稳定多谐振荡电路的制作

不过，C_1 的电荷沿图 9 所示的虚线所示的电路完全放电后，又会因为 V_{CC} 的电压而按与原来相反的方向充电（图 9 中的 C_1），使 Tr_2 的基极电压为正而导通，灯泡 Y 被点亮。

Tr_2 导通时，如图 10 所示，因为 C_2 的电压，会使 Tr_1 的基极电压为负而断

开。不过，C_2 的电荷沿图 11 中虚线所示的电路完全放电后，再被反向充电，从而使 Tr_1 的基极带有正电压而导通。综合考虑以上情况，电路总是沿图 8→图 11 的顺序反复变化，灯泡 X 和 Y 交替点亮和熄灭。

Jiro　在多谐振荡器电路中接通电源开关后，总会形成图 8→图 11 的变化状态吗？

Doc.　在接通电源开关的瞬间略复杂些，很难用一句话说清。加电后由于两个晶体管的特性有差异，自然地，总会有一方比另一方先导通，之后这两个晶体管 Tr_1 和 Tr_2 就一直按着闭合、断开的方式重复工作了。

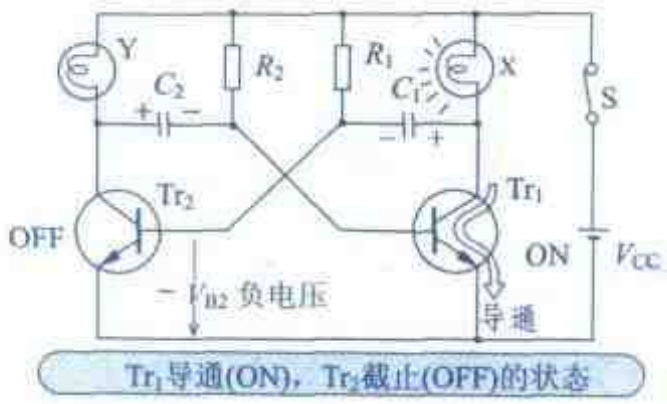


图 8　非稳定多谐振荡电路

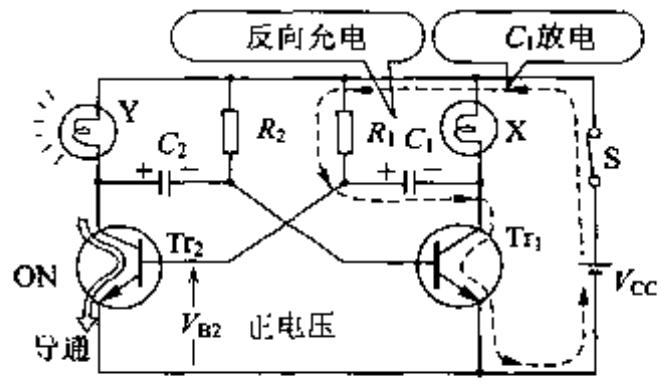


图 9　C_1 的电荷完全放电后反向充电，因此，Tr_2 的基极被加上正电压

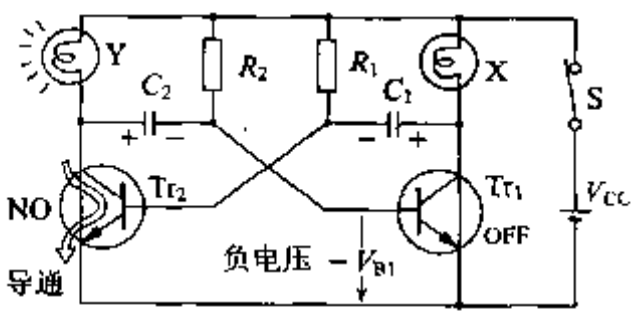


图 10　因 C_2 的电压，Tr_1 基极上形成负电压并处于截止状态

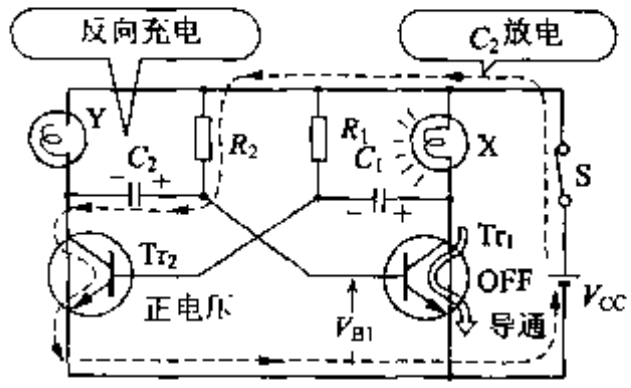


图 11　若 C_2 放尽电荷后，C_2 被反向充电，因此 Tr_1 基极上形成正电压

自我挑战

问题　在图 10 所示的多谐振荡器电路中，电容 C_1 的电荷是按什么样的方式充电的？

答　Tr_1 断开而 Tr_2 闭合时，电流的流向是 V_{CC} 的正极 →灯泡 X→C_1→Tr_2，即电容沿此方向充电。

7 自制报警装置

——事实胜于雄辩





水位报警电路传感器中为什么使用多谐振荡器

Mako　上一次我们看了 Jiro 设计的电路，这次我想说说自己设计的电路。这个电路的作用是，如果将插头插入水面就会产生蜂鸣，故可以用作监测水位的报警器。

Jiro　如果将它插在浴盆里，不就可以很方便地测量出来是否有水溢出了吗？Mako，请说说你的电路是怎么设计的，都使用了什么样的元器件，请具体地介绍一下好吗？

Mako　我设计的水位报警电路如图 1 所示。但要了解有关此电路和元

器件的工作过程，还真需要知道不少东西呢？

Jiro　看来 Mako 今天非常自信哪！既然这样，我想先知道，在监测水位的传感器中，为什么要使用耳机插头呢？

Mako　在图 1 所示的电路中，插头的一端是晶体管的基极端，另一端连接了一个 100kΩ 的电阻，平常处于开放状态。

就是说，因为电路不是闭合的，故晶体管也就不工作。

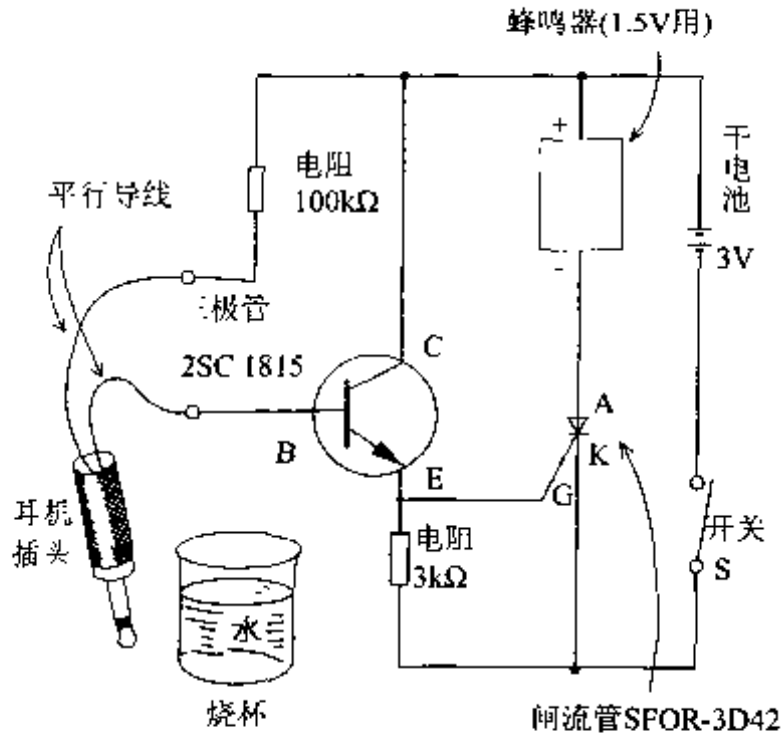


图 1　水位报警器电路

此外，利用平行绝缘导线连接的插头的前端本身是互相绝缘的，如图 2 所示。如果插入水中，因为普通的水能够导电，就构成了一条可导电的通路。

Jiro　原来如此。我明白了，插头平时是绝缘的，插入水中时利用水的导电性才构成了电气回路，这样就可以在图 1 中形成干电池(3V)的正极→100kΩ→干电池的负极的通路，也就可以使晶体管工作了。

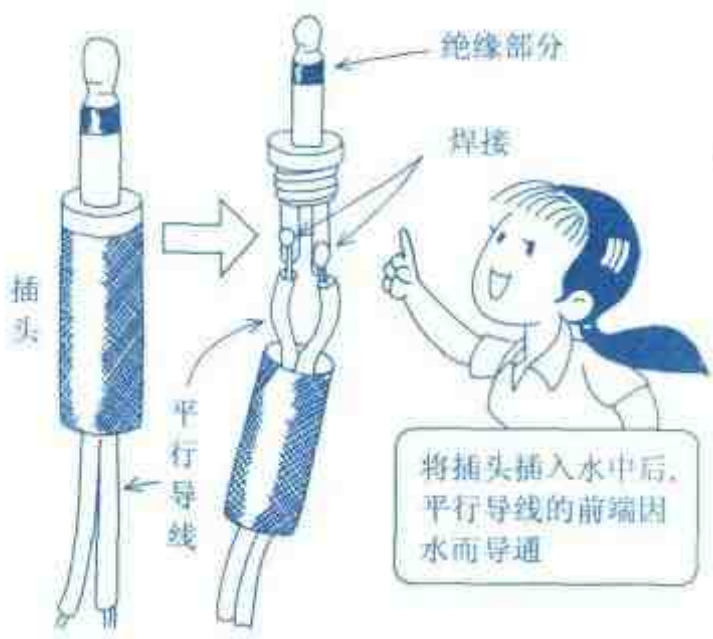


图 2　用插头作为水位传感器

Doc.　你们刚才说得很起劲，看来没少下功夫。关于水位监测报警器也让我们看了具体的器件，那么，在它实际工作时，不知道你用万用表测量过各部分的电压吗？如果这样做的话，就很容易抓住电路的工作原理。

Mako，尽管普通的水可以导电，但你想过没有，将插头插入水中时，水的电阻有多大啊？

Mako　我以前在电气理论中学过，知道纯净水是不导电的，含有杂质的水才能够导电。当时觉得有意思就测量了一下，它的值大约在几十千欧左右。

Doc.　在图 1 所示的电路中，如果在插头的位置上连接一个几十千欧的电阻，那么，要使晶体管(2SC1815)能够工作，最好是适当地给一些基极电流。那么，在电路工作时，怎样才能判断出晶体管的 B、C 和 E 端子呢？

常用晶体管上的 ECB 标记



图 3　晶体管的引脚

Mako　我是查了晶体管的规格表后才焊的。

Doc.　要是能记住是不是更方便哪！你们在学校作实验时使用的晶体管，不是基本上都印刷着说明的文字吗？如果从正面去看这些文字，就可以判定出来了。

Mako　嗯，这样就能看出来吗？

Doc.　能，正面看时，从左至右，就是 E、C、B(参见图 3)。

Jiro　在图 1 中，除了晶体管之外，还使用了闸流管呢。其实，要是只想让蜂鸣器发声的话，我想，只要晶体管就可以了……。

Doc.　Mako，你能说说这是为什么吗？

Mako　确实，在晶体管的集电极端的电路中，即使只连接如图 4 所示的电池和蜂鸣器，在导通插头后也可以使蜂鸣器发声。但是，如果导通截止，蜂鸣声也就随之停止了。

不过，使用闸流管可以弥补这一缺陷，只要蜂鸣器开始发声，即使在插头处断开连接也不会终止鸣叫。

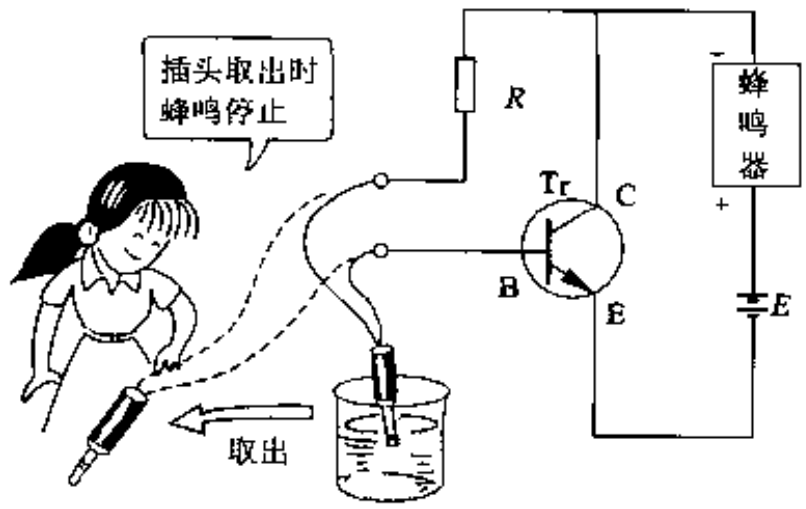


图 4　无闸流管时

一旦醒来再无睡意的闸流管

Doc.　Jiro，请你说明一下闸流管的动作特性。

Jiro　闸流管如图 5 所示，具有称为 G(栅极)、A(阳极)和 K(阴极)的三个端子。即使在 AK 之间连接上蜂鸣器和电池，如图二极管一样，也不会导通。不过，在此状态下，哪怕在 GK 之间加上微小的电压也会使 AK 之间导通，且一旦导通，只要不取下电池，即使 GK 之间断开，电路也会一直处于导通状态。

Doc.　正是这样。现在我们再来回顾一下图 1 中的电路。此电路中，尽管在闸流管的 AK 极之间连接了蜂鸣器和电池，我们知道这并不能使蜂鸣器发声。要使蜂鸣器发声（AK 之间导通），何处能够产生必要的直流电压呢？

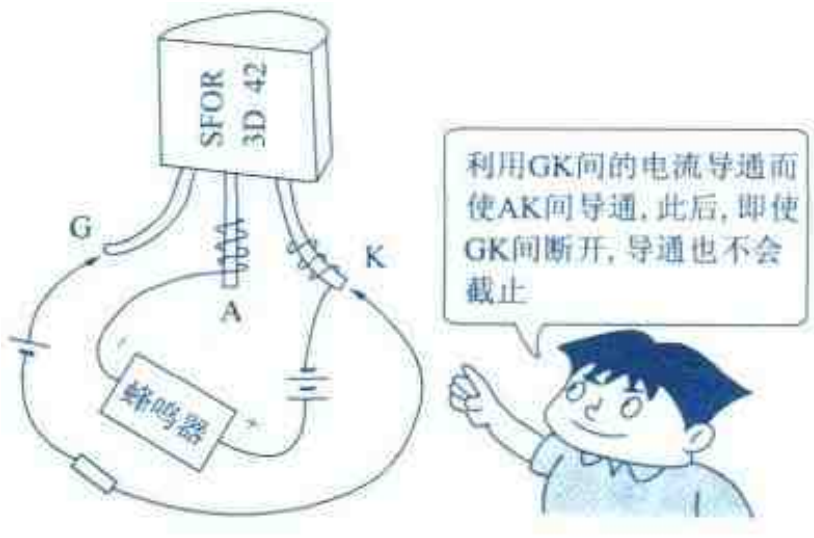


图 5　闸流管的动作

Doc.　我觉得应该是在图 1 中的 3kΩ 电阻上，因为这可以使电压被加到闸流管的 GK 极之间。

Doc.　不错。那么，使用 Mako 设计的水位报警电路，测试一下蜂鸣器发声前后的 3kΩ 电阻两端的电压怎么样？

Jiro　发声之前（插头插入水中之前）的电压为 0，在发声时的电压约为 0.75V。将插头从水中取出，电路断开后，虽然此电阻两端的电压又恢复为 0V，但蜂鸣器依然发声不止（参见图 6）。

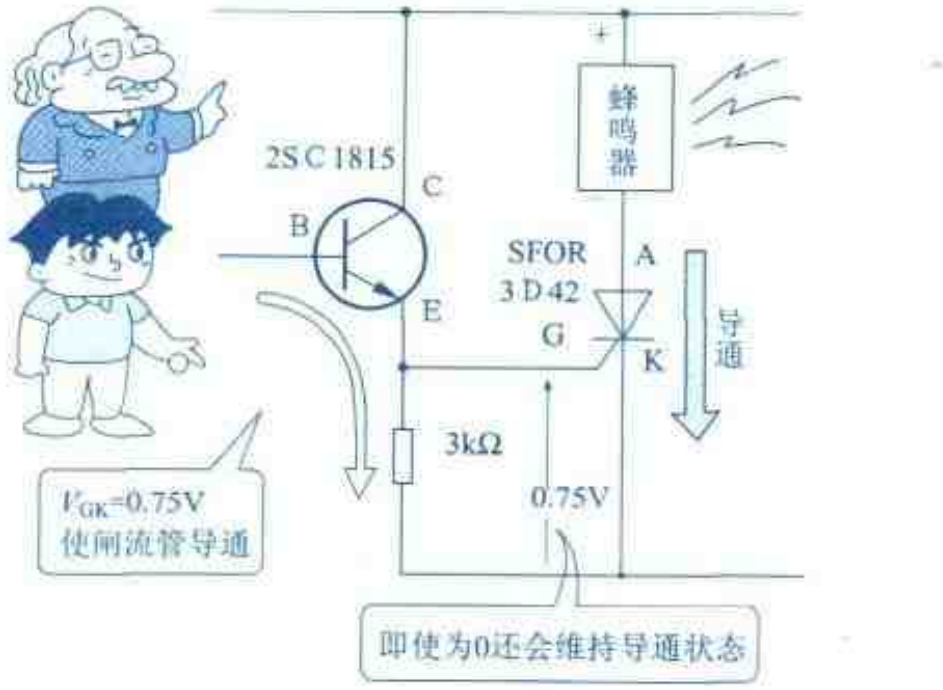


图 6　微弱的基极电流流过时 GK 之间产生 0.75V 电压

Doc.　是的，这种测试说明了闸流管的正常工作方式。那么，请将图 1 所示电路的整个工作过程简述一下吧。

Mako　首先，将插头插入水中时，这相当于在此处接入了一个几十千欧的电阻而构成的电气回路，利用干电池的 3V 电源，使晶体管产生由 B 到 E 的电流，CE 之间导通。

电流流经 3kΩ 的电阻时产生约 0.75V 的电压，这使晶体管的 E 脚具有高电位。

因为闸流管的 GK 极之间加上了直流电压(G 极为正，K 极为负)，从而使闸流管的 AK 极之间导通。由此一来，就给晶体管蜂鸣器加上了电压，使蜂鸣器发声。以后，即使断开了输入端(指插头部分)，蜂鸣器也会持续发声。如果断开开关 S，也就使 AK 之间的导通截止了。

测试电路性能

Dac. 说得很好。让我们再测量一下处于工作状态的各部分的电压。闸流管的 AK 极之间(3kΩ 电阻的两端)已经测量过了，现在来看 AK 极之间。测试一下电压值是多少呢？

Jiro 在通常的蜂鸣器不发声状态下，若开关 S 闭合，AK 之间的电压是 3.07V。就是说，这是电池的全部输出电压，因为此时闸流管不导通，必然如此。

在闸流管的 GK 之间加上电压后，AK 极之间导通，AK 极之间的电压是 0.78V。已经导通而电压不是 0V，其原因我想是源于闸流管的 AK 极的内部电阻吧(参见图 7)！。

Doc. 下面我们来研究一下晶体管的 BE 极之间的电压，看看它的值如何变化。

Mako 在插头插入水中的状态(晶体管工作)下，BE 极之间的电压是 0.64V。如果断开插头，电压值接近于 0V(参见图 8)。

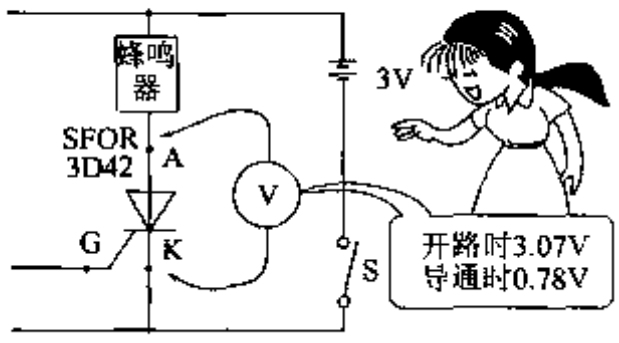


图 7 闸流管 AK 间的电压

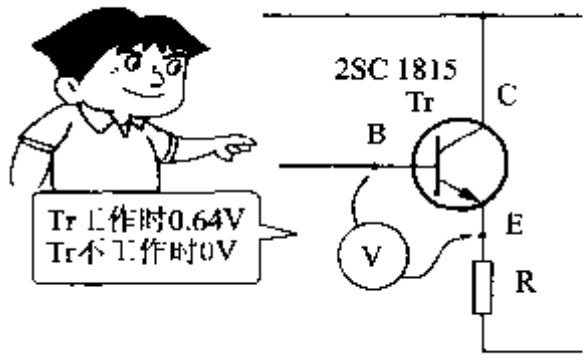


图 8 晶体管 BE 间的电压

Doc.　现在，因为 Mako 测量的晶体管（2SC1815）是 npn 型晶体管，可以判定其 BE 间的偏置电压为 0.6V，若是 pnp 型晶体管则大约在 0.2V。

Jiro　我觉得即使拆下晶体管的发射极端所连接的 3kΩ 电阻也能工作。可是，晶体管工作时，有 E→G→K 之间的电流和直流电流，但闸流管的 AK 极之间为什么还不能导通呢？

Jiro　想象力很丰富。那好，我们还是借助于 Mako 的设计，拆下 3kΩ 的电阻看看。还真像 Jiro 所说，电路仍旧可以工作呢！不过，工作状态很不稳定，稍微有点振荡蜂鸣器就响了。因此说，在 GK 极之间接入电阻的目的是给闸流管提供稳定的电压，从而使其工作状态更稳定。

围绕电子电路的工作不仅是设计和制作出电路，通过这次学习，一定还要认真理解如何进行电路测试，扩大自己的知识面。

自我挑战

问题　试说明图 1 所示的电路中的 3kΩ 电阻的功能。

答　晶体管（2SC1815）工作时，闸流管（SFOR3D42）也同时导通，给闸流管的 GK 极之间加上直流电压。

8 利用电子电路进行光控

——用声音控制相机的快门





利用电子电路捕捉肉眼看不见的世界

Doc. 前一次就 Mako 使用一个晶体管和闸流管设计的水位检测器讨论了很多,这回再看一下我用闸流管设计的一个小装置。

Mako 啊,老师给我们看您自己的设计?那是一个具有什么功能的电路啊?

Doc. 在看电路之前,先给你们看三张照片,这些照片的拍摄都得利于闸流管的功能,大家看看怎么样。

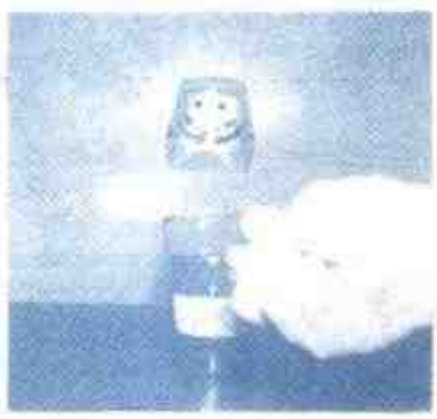
Mako 这是不倒翁的照片啊。照片 1 是在木锤接触不倒翁的瞬间拍摄的,照片 2 是在棋子飞出的瞬间拍摄的,照片 3 拍摄的就是在此之后的不倒翁

倒塌的瞬间。这是连续摄影啊！

Mako　Jiro，这与连续摄影还是有些不一样啊。照片 1 和照片 2 中木锤的位置全然不同，照片 3 中不倒翁的倒塌也有点奇怪啊。从图上看来，不倒翁下落的瞬间应该是分别拍摄的，且照片 2 看起来也更利落一些。



照片 1　木锤击中的瞬间



照片 2　不倒翁下落、棋子水平飞出的瞬间

Doc.　Mako 说得不错，这不是连续拍摄，每一张照片都是分别拍摄的。不过，这不是偶然的拍摄，而都是按预想的结果捕捉到的。

Jiro　照片 1 是在木锤扣击不倒翁的一瞬间捕捉拍摄的吧？

Doc.　是的。拍摄照片 1 的电子电路实际上拍摄了多幅照片，这样就可以捕捉到木锤扣击棋子的瞬间了。



照片 3　不倒翁柱倒塌的瞬间

Mako　照片 2 反映的是棋子利落地飞出的一瞬间，所使用的电路与照片 1 所用电路有什么差别吗？

Doc.　这个电路的确与照片 1 所用电路有所不同。不过，能拍摄到这样的照片，全托电子电路的福，确实给我们增加了乐趣。

Jiro　老师的意思我稍微有些不解。为什么利用电子电路可以记录下这样的一瞬间的动作，而使用的照相机又是什么样的呢？请老师指教。

将声音转变成光需要什么

Doc.　好的。来看看摄影时使用的电子电路和模型吧！其实，要拍摄扣击瞬间，使用普通的照相机就成，可以在喊“一、二、三”的同时按下快门进行

拍摄。不过，用这样的办法想拍摄到棋子飞出的样子可就太困难了。此处我们要思考的是如何借助于光和电子电路的方法，首先就要设计如何在发出声音的同时就能产生光的设备。请看图 1。

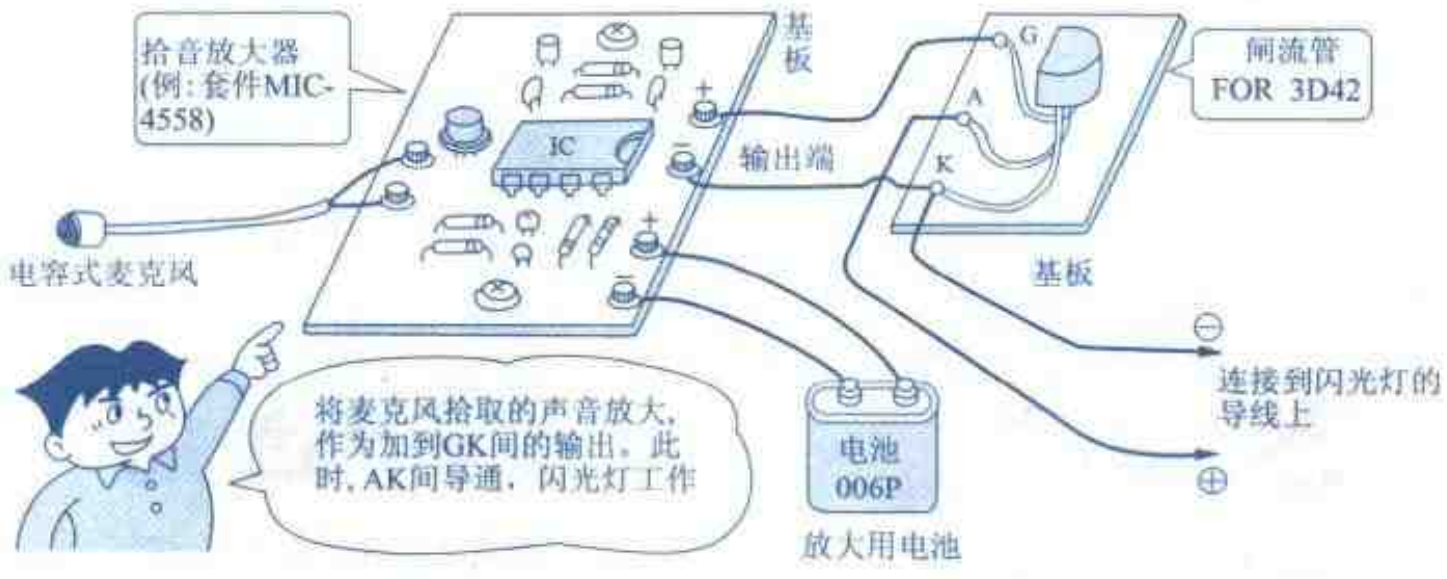


图 1 摄影用的电子电路

Jiro 首先可以想到的是，最初应使用麦克风和放大器吧，利用麦克风来拾取扣击声音，再转换成电信号进行放大。

Doc. 是的。如果要组装这样的电路，利用市售的成套元器件就可以很容易办到。

Mako 拾取到声音后，来自拾音放大器输出端的信号电压被加到闸流管的 G（栅极）K（阴极）之间，就是与我们上一次使用的闸流管相同的 FOR3D42。若在 GK 之间加上电压，A（阳极）K（阴极）之间即可导通，这是闸流管的性质所致，可以理解。但这与光又有什么关系呢？

Doc. 我们都很熟悉照相机的闪光灯。尽管在开关闭合时有电路将高电压加到发光管上，但电路平时是断开的。在按动快门时，由于电路被短接，使发光管被加上高电压而发光。不过，大家所见到的照片，并不是按下照相机的快门就照下来了，实质是分别使用闪光灯和照相机的结果。

这就是说，连接闪光灯到照相机的连接线应接在闸流管的 AK 极之间，请看图 2。这样一来，在按下快门时 AK 极之间就会同时导通，从而点亮闪光灯。

Jiro 老师，在新近的闪光灯中，多数都没有图 2 所示的连接线了吧？

Doc. 是啊，随着照相机的进步，现在的闪光设备都安装在照相机上，且本身也已经连接好了，使用起来非常方便。不过，考虑到以前的照相机，目前仍有的地方单独出售这种带连接线的闪光设备。

可以做一下如图 2 所示的特殊实验，不过，由于必须牺牲连接线，而现在的

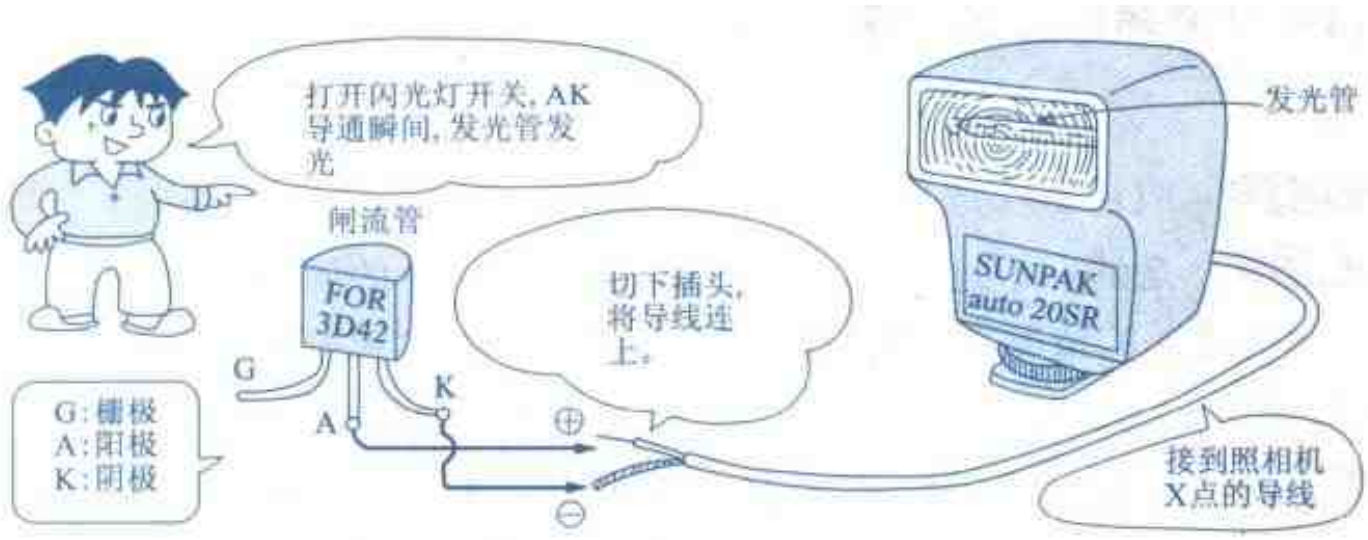


图 2　闪光灯与闸流管的连接

闪光设备本身的制作也亦相当精良，最好能找到一个旧的闪光灯来用。通过这个实验，就可以体会到闸流管的确被用作使闪光灯发光的开关了。

Mako　听到声音时闸流管工作，使闪光灯连接线的端子之间短路，使其同时发光，这一点已经明白了。但作为摄影主体的照相机部分又是怎么做的呢？

Doc.　图 3 所示是摄影的全过程。首先，作为条件，需要在暗室内进行实验，明暗程度以棋子可见即可。准备好之后，接通电池电源，放开照相机快门的速度（自动曝光气门）。当木锤扣击不倒翁的瞬间，闪光灯会“啪”地闪亮，摄下此瞬间的影像。随后，马上关闭快门，一张照片就拍完了。



图 3　摄影用电子电路的连接

延迟电子电路动作是关键

Mako 照片 1 就是这样拍摄下来的吗?

Doc. 是的。不过,图 1 所示的电路是在发声的同时进行抓拍,可以摄下棋子飞出之前的情况,这种拍摄过程到也没什么奇特之处。

Mako 上述过程充分运用了电子电路中电子的快速反应功能。

Jiro 在前面已经说过,拍摄照片 1 和照片 2 的电路是不同的,我想,是不是应该体现在从听到声音到发光为止的时间差的处理上啊?

Doc. 确实如此。说是时间差,其实也就是发声之后的 1/100s 左右。要想稍微给出一点延迟,我们可以考虑加入了继电器和发光二极管的电路。这就是拍摄照片 2 所用的电路(参见图 4)。只要连续拍摄几张,总可以拍摄到棋子向空中飞出时极短的一瞬间的影像。

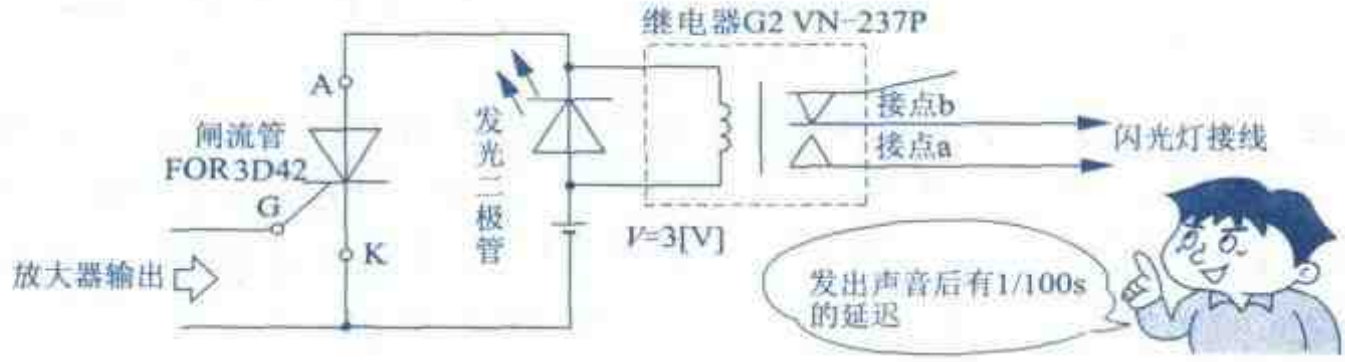


图 4 利用继电器的延迟电路
(可得到 1/100s 左右的延迟)

Jiro 为什么要使用继电器和发光二极管呢?

Doc. 要知道,继电器是具有机械接点的开关,因此,尽管在听到声音的同时导通闸流管,使继电器的线圈励磁,再使与快门连接的 a 点闭合,总会有一点延迟。因此,就使得曝光时间稍微晚了一些。加入发光二极管的目的是使继电器线圈得到的电压更稳定,准确地确认动作的状态。

Mako 照片 3 又是如何拍摄的呢?

Doc. 使用延迟更大的继电器。除了不倒翁之外,你们可以再尝试拍摄一些其他情景的照片,还是蛮有意思的。

自我挑战

问题　图 1 所示的电路中，闸流管对于闪光灯发光有什么重要作用？

答　为了使闪光灯发光，需要使加给发光管高电压的电路闭合，即必须使此电路短接。图 1 中的闸流管可以在 GK 之间加上信号时使 AK 间闭合，这使闪光灯的接线连上，控制其发光。

9 最基本的数字电路

——与(AND)、或(OR)、非(NOT)门电路





模拟与数字哪一种更利于传输信息

Mako　在电子电路中,经常使用模拟信号和数字信号,它们都是什么意思呢?

Doc.　模拟源于相似之意,而数字则来源于一、二、三数数的形式。

Mako　传输数字信号和数字信号时有什么样的差异啊?

Doc.　请看图 1。图 1 的(a)是利用模拟信号来传输 6V 的直流电压示意图,而图 1 的(b)则是先将 6V 的电压数字化,再利用 6 次开关的闭合、断开切换的数字形式来传输。你们觉得,仅就传输数值 6 来说,哪一种传输能更准确呢?

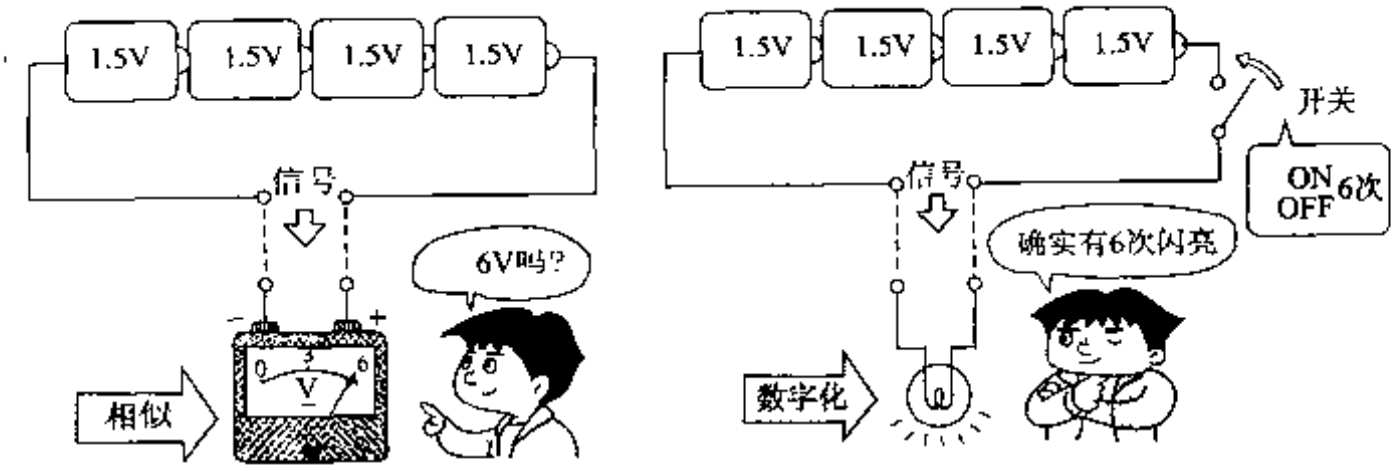


图 1

Jiro　我觉得，使用模拟信号时，由于传输途中的电压降低，电压表的读数将会低于 6V。如果使用数字信号，当然，灯泡能够准确地产生 6 次亮灭变化，因此，在传输数值 6 时，采用数字信号应该比模拟信号的准确性好。

Doc.　现在，我们通过数据发送示例来比较一下模拟与数字的差别，体会一下源于相似和数数意味着什么。

Jiro　在上节之前，我们看到的可以检测水位并发出警报以及可以检测出声音并随之发光的电路中，处理的都是不需计数的模拟量。

但是，我觉得在我们的身边，除了钟表之外，还有计算器和其他测量仪器等大量设备，更多处理的是数字信号啊。

Jiro　正向 Jiro 所说的，当今电子设备的数字化的确极为广泛，如音响和电视机的数字存储，或者电话等通信的数字化等，以至于为数不少的人甚至误认为电子技术就是数字技术呢。从现在起，我们大家一起了解一下作为数字技术基础的数字电路吧。

何谓 AND 电路

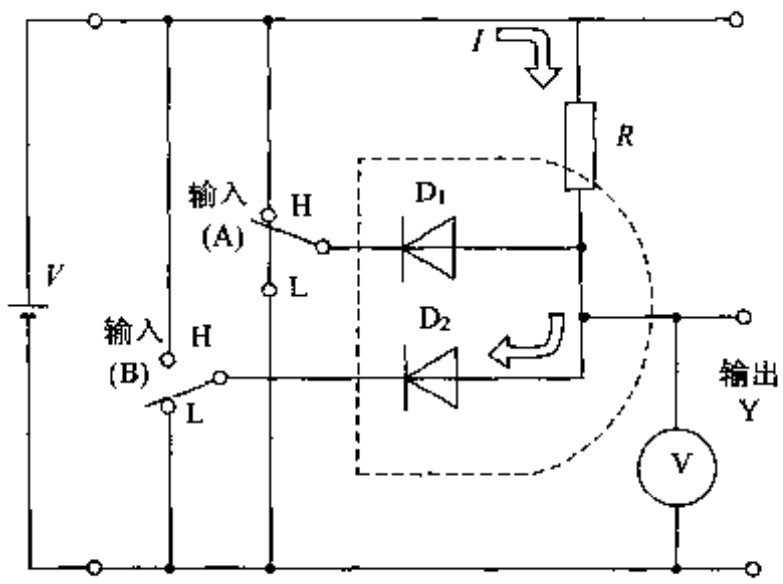
Jiro　要想学习数字电路，必须了解些什么呢?

Doc.　实际上，数字电路是一种本质上十分简单的电路。就是说，先有一些最基本的电路，再用若干这样的基本电路来组合成具有一定功能的电路。如果将计算机说成是集基本电路之大成于一身也不为过。因此，首先就要掌握这些基本电路。

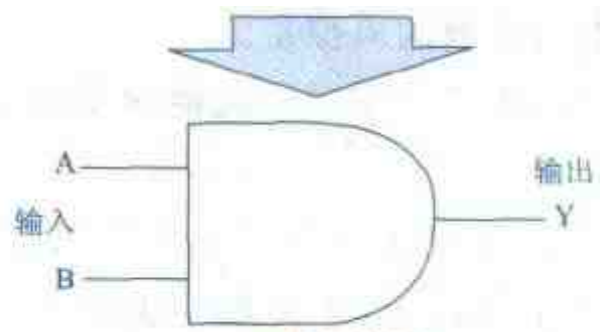
Mako　基本电路都是些什么样的电路呢?

Doc. 数字电路有时也称为逻辑电路，其基础是三个分别称之为与(AND)、或(OR)、非(NOT)的电路。其中的任何一个电路都处理只有有、无两种状态之间变化的信号。

这种“有”和“无”的电信号可以是对应着脉冲的有无，也可以对应着开关的ON和OFF。AND、OR和NOT就是将这两种电信号作为输入和输出进行处理的基本电路。



(a) AND电路图



(b) 图形符号

输入		输出
A	B	Y
L	L	L
L	H	L
H	L	L
H	H	H



(c) AND电路真值表

图 2

先来了解一下AND电路。图2(a)就是使用了二极管D_1和D_2的AND电路，这种电路的图形符号通常表示为图2(b)。若在输入端A和B加上的电压以及输出电压Y的电压值为0时用“L”(低电平)表示，为V($V>0$)时用“H”(高电平)表示，我们来研究一下AND电路的工作状态。Jiro，请你说明一下图2(a)的工作状态。

Jiro 因为输入端B为L电平(开关切换到下部)，形成从电阻R至二极管D_2之间的电流I，此时电压表的指示几乎为0V，即输出Y为L电平。

Doc. 如果要使输出端产生电压，输出Y为H电平，想想输入A、B应为何值？

Mako 要使输出Y为H电平，输入A和B必须也是H电平(开关切换到上部)。

Doc. 输入A、B的选择方法共有4种，图2(c)列出了针对A和B的所有可能值所对应的输出状态，此表称为真值表。

上述讨论说明，AND电路通常有两个以上的输入端和一个输出端，只有在输入全为H电平时输出才为H电平。

Mako　我觉得，也可以用 1 来代替 H，用 0 来代替 1 而形成真值表吧？

Doc.　是这样。1 和 0 表示的真值表确实是很常见的。下面来研究 OR 电路，图 3(a)就是使用二极管 D_1 和 D_2 构成的 OR 电路，(b)则是 OR 电路的图形符号表示。Mako，请你来说明一下图 3(a)的动作状态。

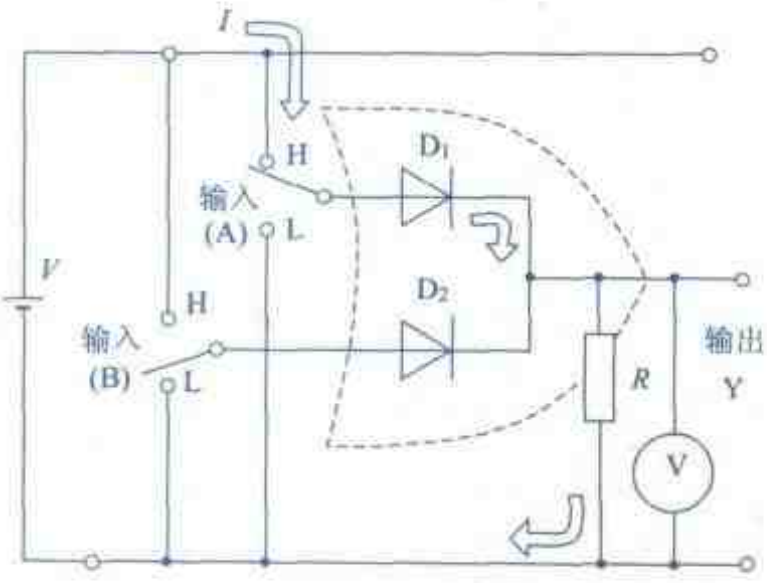
何谓 OR 电路

Mako　如果输入 A 和 B 有一个是 H 电平，如图 3(a)所示，电流 I 按从二极管至电阻 R 的方向流动。此时，输出端 Y 的电压是电阻 R 的电压降 $R\times I$(V)的值在电压表上的读数，因此，可由电压表的摆动上看到其为 H 电平。

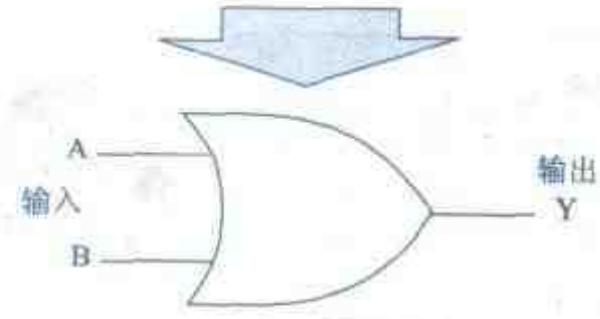
Doc.　如果电压表说明为 L 电平又如何呢？

Mako　输入 A 和 B 都是 L 电平。也就是说，输入 A 和 B 的开关都置于 L 一侧时，输入电压为 L，输出也为 L。

Doc.　很对。图 3(c)给出了 OR 电路的真值表。以上的讨论说明，OR 电路通常有两个以上的输入端和一个输出端，如果有一个以上的输入为 H，则输出也为 H。



(a) OR电路图



(b) 图形符号

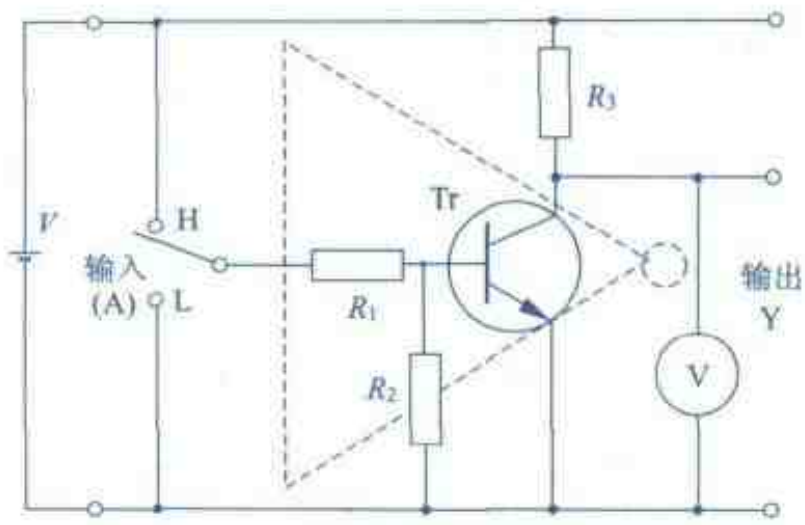
输入		输出
A	B	Y
L	L	L
L	H	H
H	L	H
H	H	H

(c) OR电路真值表

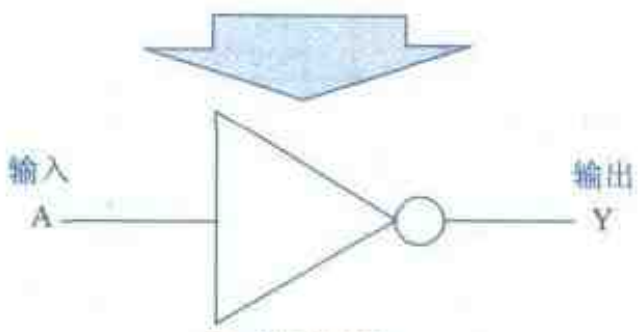


图 3

何谓 NOT 电路



(a) NOT电路图



(b) 图形符号

输入	输出
A	Y
L	H
H	L

(c) NOT电路真值表

图 4



Jiro 图 4(a)和(b)是使用了晶体管的 NOT 电路和它的图形符号表示吧！

Jiro 在此图中，由于输入为 H，晶体管 Tr 有基极电流，使集电极-发射极之间有电流通过（导通），因此，电压表的指针几乎没有摆动，输出 Y 为 L 电平。

Jiro 输入为 L 时，Tr 的基极没有电流，Tr 截止（集电极-发射极之间无电流通过），输出 Y 为 H 电平。

Jiro 你们俩已经清楚地描述了电路的动作形态。NOT 电路的真值表如图 4(c)所示。以上讨论说明，NOT 电路在输入为 L 时输出 H，而在输入为 H 时输出为 L。

不过，今天我们只学习了作为数字电路基础的 AND、OR 和 NOT 三个电路的结构和动作，开始时曾经说过，用这些基本电路可以组成其他电路。如果用一个个电阻和二极管来组合出具有复杂功能的电路并不是一件容易的事，通常在 TTL-IC 中使用它们。

TTL-IC 是 Transistor Transistor Logic Integrated Circut 的缩写，中心意思就是用晶体管组成的数字电路。

有关这些内容将在下一节接续学习。

自我挑战

问题　下述短文描述了如图所示的逻辑电路的性质，请在空白处填上适当的内容。

① 若输入 A 为 H，则输入 B 为(　　)时，输出 Y 为 H。

② 若输入 A 为 L，则输入 B 为 H 时，输出 Y 为(　　)。



答　① H　② H

10 IC讲座(Ⅰ)

——对电子电路的影响





何谓 IC

Mako　我们已经学习了作为数字电路的 AND、OR 和 NOT 这三个基本电路。老师曾说明，用这些电路可以组合出具有各种各样功能(如计算功能)的电路。但是，如果要用一个个的电阻和二极管来组成电路却极为复杂，好像手工难以实现。那么，如果我们想利用这些数字电路的基本电路要怎么办呢？

Doc.　啊，如果用电阻和二极管来组成数字电路还确实很麻烦呢！事实上，通常只在数字 IC 中使用这些基本电路，今天我们就来说说有关 IC 的话题。

Jiro　是有关 IC 的讨论吗？我知道 IC 是 Integrated Circut 的缩写，也称为集成电路。它是一种将大量的晶体管、二极管和电阻等电路元器件置入硅等半导体基板上而构成的集成电路。

Doc.　看来在学校学得还挺扎实。那么，我们就看一下 IC 吧（参见图 1）。Jiro 所说的集成电路，也就是如图 1 所示的芯片，如你们所见，是一个非常小的薄片状的东西。

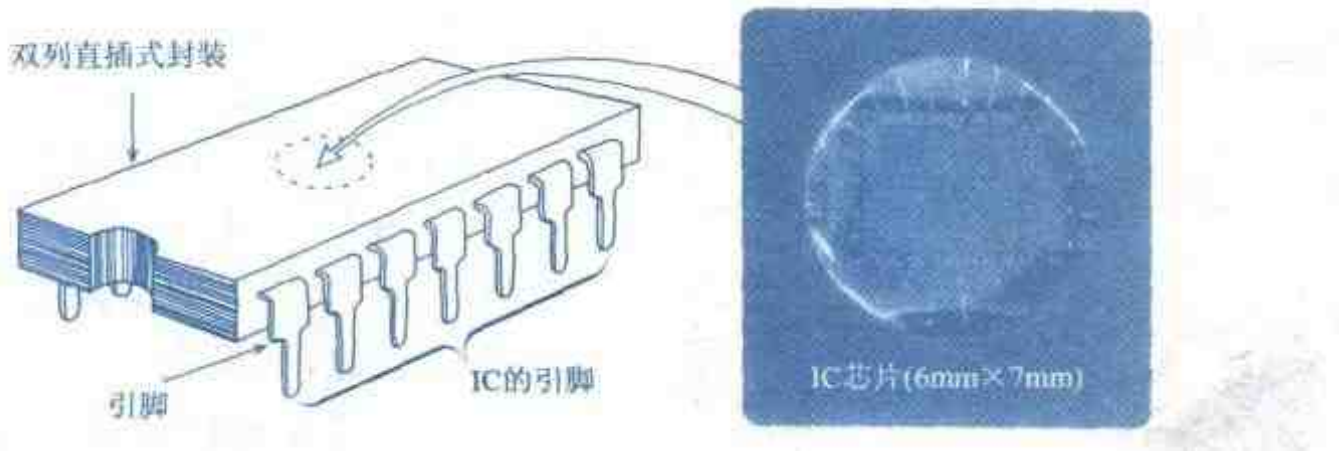


图 1　封装后的 IC 芯片

Mako　图 1 所示的具有很多脚的块状物想必就是置有 IC 的东西了，这东西看起来真像只蜈蚣一样。

Jiro　嗯，图 1 所示就是一种使用最为广泛的所谓的双列直插式封装（dual inline package）芯片，引脚的间隔恰好可以使其能够插入印制电路板，加上使用的材料是硅和环氧树脂等，从材料到造价都非常便宜。

Jiro　这种称为 IC 封装的东西，连 IC 芯片都比它要小，是为了使内部电路和外部电源能够相连而专门设置引线用的吗？

IC 封装的用途

Doc.　这个推测并没有说明其主要目的。一般情况下，使用晶体管等半导体所构成的元器件具有非常敏感的特性，空气中的灰尘和颗粒、电离的气体等都可能使其性质完全改变而不可用。因此，要用硅树脂和环氧树脂等材料来保护 IC，使之坚固并防止与外部空气和尘埃接触，保护固定的导线。

Mako　仔细观察图 1 所示的 IC 芯片时，周围有一些细细的引出线，就是这些线连接到封装的引脚上吗？

Doc.　图 1 所示的 IC 芯片周围那些发亮的细线是铝线，是利用超声波焊接在 IC 芯片的表面上的(称为引线结合法)。封装的引脚也就是露在封装外侧的导线(端子)，它们与 IC 芯片上的引线相连。

Mako　我们所见到的 IC 通常有 8～11 个左右的引脚，根据图 2 所附的编号来使用。为什么需要这么多的引脚呢?

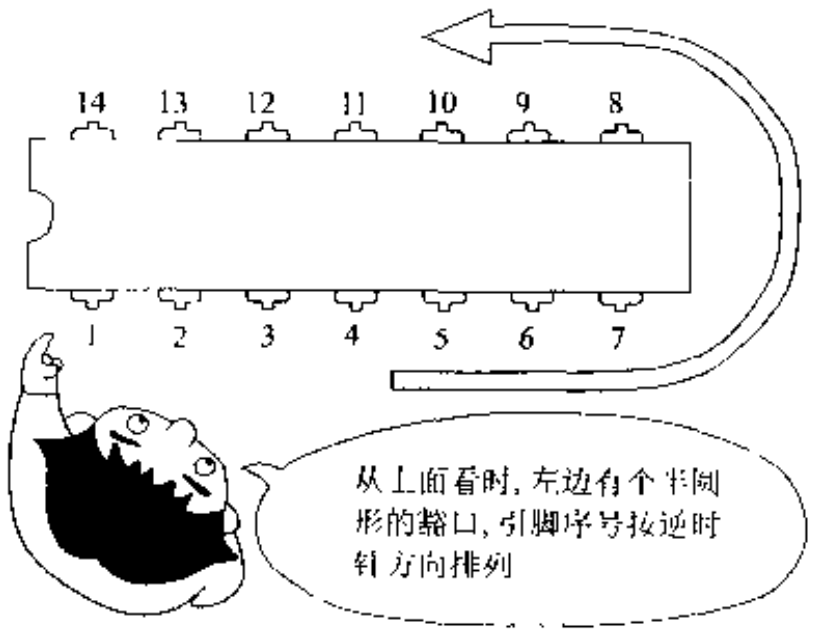


图 2　IC 引脚的序号

Doc.　最近出现的 IC 常常还不止 11 个，多时可以有 20～30 个引脚呢。IC 有很多引脚的原因是不仅要连接电源和地，输入和输出也多种多样，数目较大。

随着 IC 技术的进步，在一块 IC 芯片中集成的电路也越来越复杂。因此，如果在一个芯片中制作一个电路并进行封装，就需要在外部将这些封装后的芯片焊接在一起，太费事了。

对于上述情况，可以在一个封装中尽可能地装入更多的电路，这才是经济的作法。因此，就使得大量的 IC 芯片被封装在一起，当然，引脚的数量就增多了。这种情况下，也渐渐地促使封装的形状发生了改变。刚才，Mako 曾提出过具有 14 个引脚的 IC，以此为例，我们来看看数字电路的结构。图 3 所示即是型号为 74LS08 的数字 TTL-IC 的结构示意图。

Jiro　图 3 所示的 IC 引脚中，除了电源($+V_{cc}$)和地(GND)外，还包括 4 个 AND 电路器件呢。

Mako　输入和输出的数量多是能够理解的。尽管无需采用单独的三极管和电阻来制作 AND 电路，有了这种数字 IC，就可以使用 4 个 AND 电路啦。

Doc.　与 AND 电路同样，OR、NOT 以及用这些电路组成的具有判断功能的电路应有尽有。

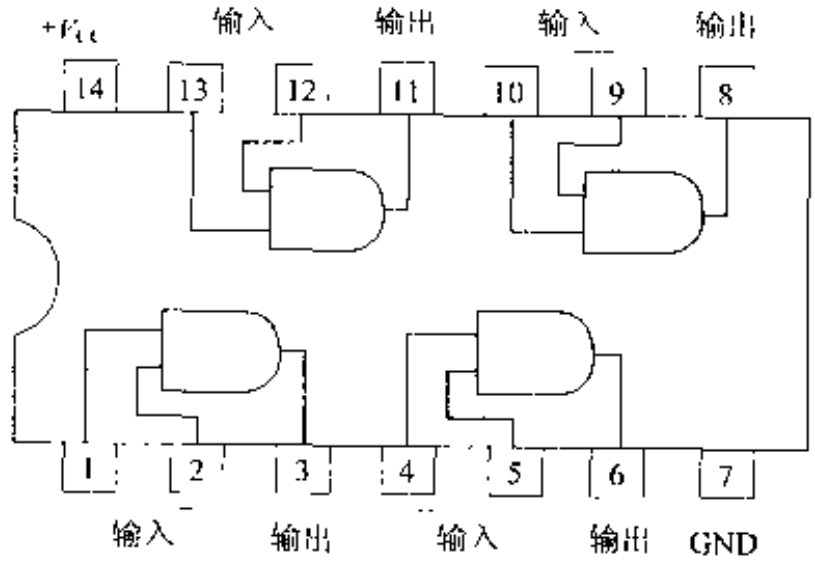


图 3　具有多输入输出的 IC

Mako　在仅有 5mm 左右见方的 IC 芯片中，能够容纳具有这么多种判断功能的电路，IC 真让人感到神奇。

Doc.　Jiro，你能具体说说 IC 的什么地方比较神奇吗？

Doc.　我觉得主要有三个比较大的特点：

① 电路本身体积微小；

② 可靠性高，故障率小；

③ 尽管电路的功能复杂，但价格却很便宜。

Doc.　的确如此。说的都是好话，这有点像只是打、跑、守三技俱全的棒球手了。Jiro 所说的三个特点是其突出的优点，不过，考虑到电子电路的功能时，还是隐含着一些重要的事情需要注意。因此，我们再稍微研究一下这些特点的内涵。Mako，对于这些特点，你有没有什么感想？

IC 芯片为什么会如此之小

Mako　刚才倒是有那么点感觉，在图 1 所示的挤满了电路的 IC 芯片过分地小，相比之下，芯片的封装又太大，那么，如果 IC 芯片不做得如此之小不好么……

Doc.　过分的超小型是让人觉得有些问题。对于人来说，过分小了使用起来实在困难，像我这种年岁，如果去焊接那些封装的引脚，恐怕已是苦不堪言了。更何况，这还是已经利用封装将小得可怜的 IC 芯片扩大了呢！

Mako　那么，为什么 IC 芯片要做得如此之小呢？

Doc.　事实上，这与 Jiro 所说的第③个特点有关，也就是使芯片的造价低廉之故。使用的材料越少则价格就越便宜，这种例子比比皆是，容易理解。从 1 枚 IC 芯片的基片（硅晶片或称单晶片，直径在 10cm 左右的硅的薄圆板状物）上可以同时制作出几百枚 IC 芯片，这与生产几十枚所花的功夫没什么两样。很明显，芯片做的越小就越便宜。因此，只要技术上可以实现，芯片就越做越小。

Mako　不光芯片的大小，如果再将若干个 IC 合成在一起，价格上就会更低了。

何故使芯片中的元器件数量越增越多

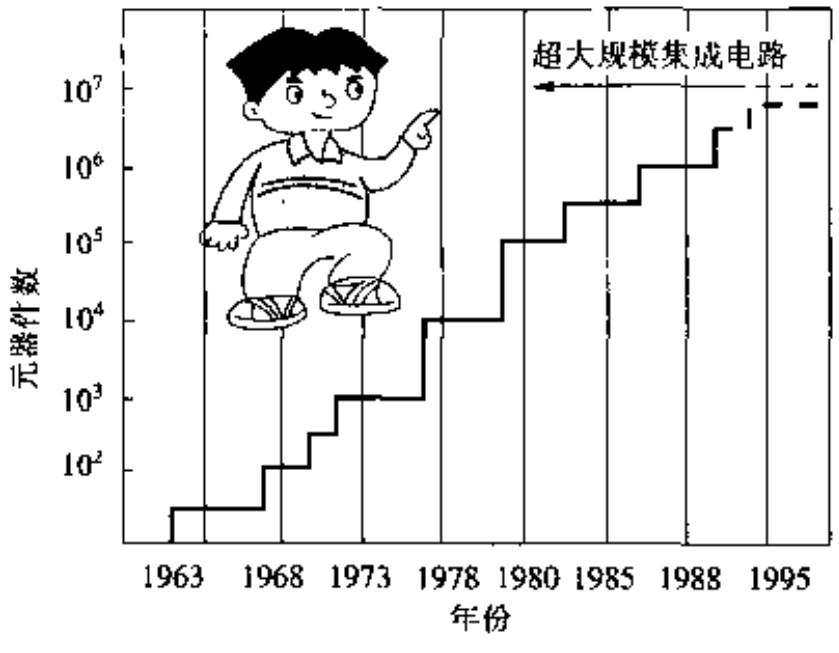


图 4 IC 芯片集成度的变化过程

Doc. 是啊。如果将若干个 IC 和在一起，置入一个封装中，自然比单个的封装来得便宜，还可以节省导线呢。正因为如此，一个芯片中置入的元器件数逐年增加，如图 4 所示。

Doc. 图 4 中的曲线说明，目前的大规模集成电路中的元器件数量已超过了 10^6（百万）个，这么多的元器件集成在芯片中，就使得 IC 更显便宜了。

Doc. 的确，对应于一种功能（例如 AND 电路功能）的价格就降下来了。Jiro 还给出了一个故障少的长处，现在考虑一下他的理由。目前的电子部件，如果采用晶体管和电阻等搭成电子电路，那么，电路中需要各种各样的东西，且互相间存在接触，既有可能接触不良，也有可能因为化学作用的影响，经过若干时间之后，会频频发生故障。

但是，IC 的故障少来源于其东西的种类少，大部分单片 IC 只用硅和铝即可制作出来，因此，即使受到外部条件的影响，也不会使哪一个晶体管产生变化。

IC 对于电子电路的思考方法的影响

Mako IC 的确有不可多得的优点，在 IC 高速发展的今天，从电子电路的角度考虑，它对我们也产生了不少的影响。例如，若使用 IC，不费任何气力就可以得到一个放大电路，即使没有电路设计的知识，也可以做出高级的电路来。

Doc. 确实，因为 IC 的进步，电子电路的今昔已有很大差异，电路的功能变成了需要思考的中心问题。因此，可以说 IC 引起了有关电子电路的思考方法的一次革命。就像 Mako 所说的，即使不了解放大电路的理论，也可以作出一个放大器，这当然是 IC 之功。

在使用电阻、电容以及晶体管组装电子电路时，便宜的是电阻和电容，而晶体管较贵。但是，在 IC 中的电子电路是用化学方法制成的，与晶体管相比，电阻必须占用更大的面积，因此，价格上完全颠倒过来了（在 IC 中如何制作晶体管和电阻等元器件在下一节介绍）。

就这样，IC 的发展促使人们产生了更新的想法，就是能否将原来由电阻和电容构成的电路部分用晶体管来代替，这也预示着一种与以往的电子电路不同的新电路的诞生。

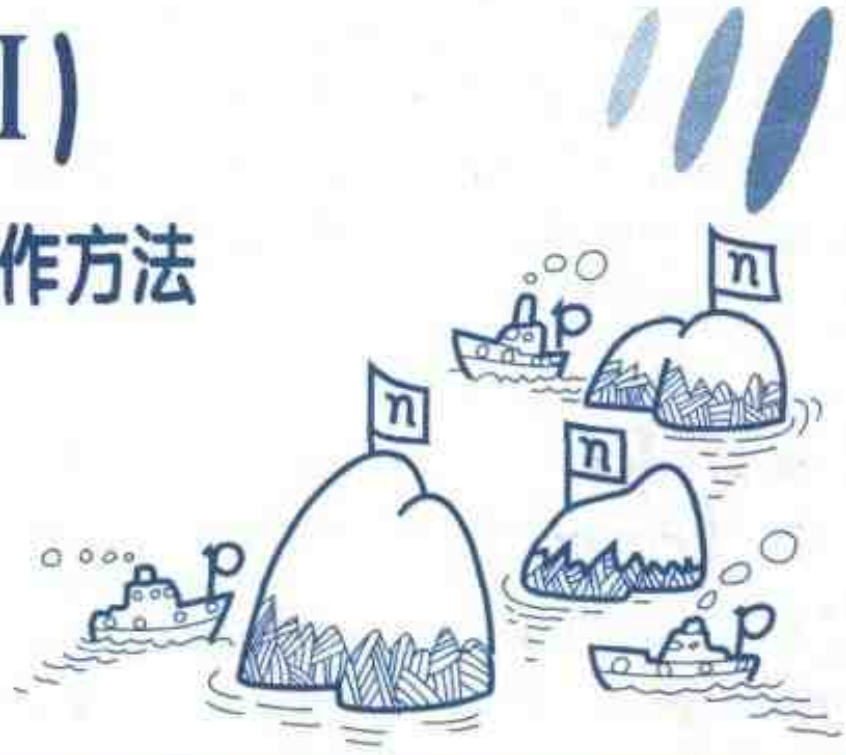
自我挑战

问题　IC 的封装对于 IC 芯片来说起什么作用？

答　由于 IC 芯片非常小，我们将其封装在相对容易使用的容器内，起到将芯片的导线构成对外的接线引脚的作用。同时，利用环氧树脂使 IC 芯片的元器件与灰尘及电离的气体等隔离、起保护和加固作用。

11 IC讲座(Ⅱ)

——单片IC的制作方法





IC的种类

Mako　上一次，先生将IC的出现比喻为电子电路的一场革命，它使以前的电子电路的思考方法产生了极大的变化。例如，由于IC结构中电阻比晶体管的造价更高，自然要大量使用晶体管，这就产生了直接制作电子电路板的想法。

听老师说，从1片硅的基板可以产生数百个IC芯片，而每个芯片自己就是具有一定功能的完善的电路，我确实吓了一跳。IC芯片到底是如何制作的呢(参见图1)。

Jiro　听说 IC 有很多种，是吗？

Doc.　在了解如何制作 IC 之前，我们先说说 IC 有哪些种类。从结构上来分，有单片 IC 和混合 IC 两类。单片来自于 mono 和 lithic，就是一个石片的意思，整个电子电路都集成在如图 1 所示的一片很小的硅芯片（板）上。与此相对的，混合的英文词是 hybrid，就是混合而成的意思。至于混合的东西，包括其中的晶体管，由硅制成，此外的电阻和电容以及与引线相当的部分则用别的材料制成。这种电路的基板也可以使用其他种类的绝缘物质构成。

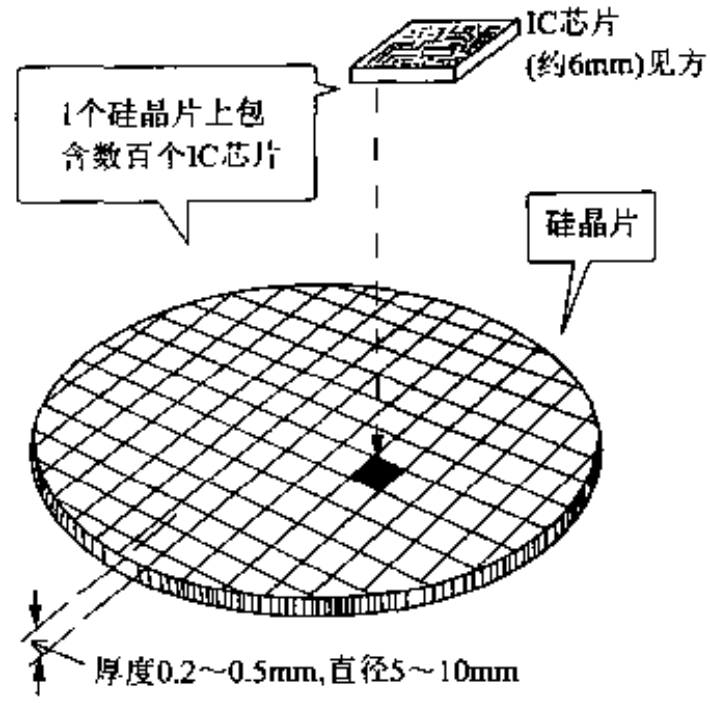


图 1　硅晶片

Jiro　单片 IC 中的基板也可以用硅来实现吧？

表 1 单片 IC 和混合 IC 的比较

	单片 IC	混合 IC
结构	用单片的硅制成	用各种材料组合而成
优点	属小型（集成度略低） 可大批量生产	适用于密度高、量少而器件品种多的电路 可用于大功率 可用于超高频
缺点	电阻和电容的值受限，精度略差	价格高 集成度低 不能批量生产

Doc.　是的。以上我们已经按结构将 IC 划分成了两大类，即单片 IC 和混合 IC，表 1 列出了它们各自的特点。

Jiro　除了按结构划分之外，还有什么其他分类方法呢？

Doc.　也可以根据用法来分类，这在单片 IC 和混合 IC 中都存在，包括数字 IC 和模拟 IC 两种。

数字 IC 是计算机中大量使用的一种 IC，是仅以开关量驱动的 IC，制作较为简单。

模拟 IC 是在电视机和音响设备中使用的 IC，是输入和输出保持定常关系的一种 IC（也称为线性 IC）。

现在，我们来了解一下单片 IC 是如何制作的，请看图 2。这是在高纯度的硅晶体(本征半导体)中掺入极少量的硼(B)而构成 p 型半导体(硅晶片)，在其上要制作外延生长层。

如何制作单片 IC

• 何谓外延技术

Mako 制作外延生长层采用的是什么技术呢？

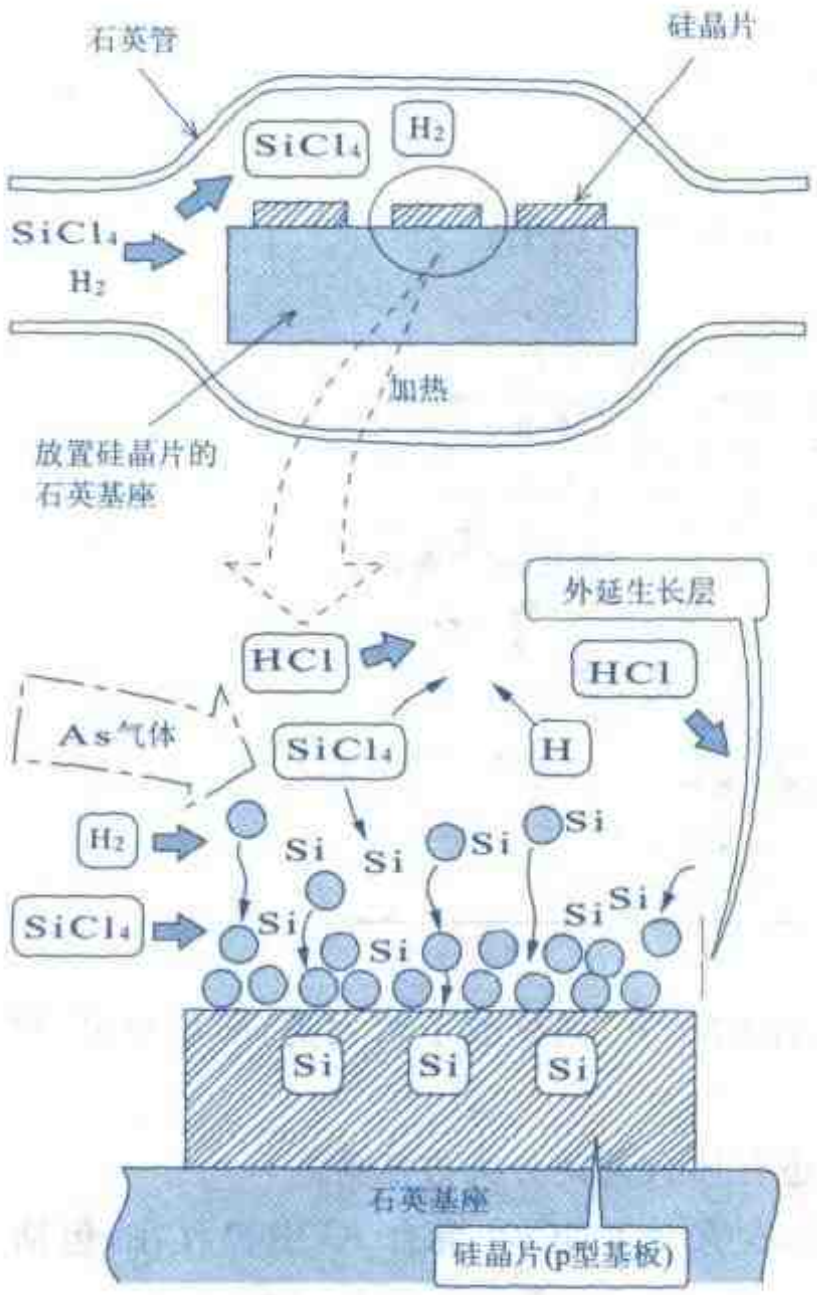


图 2 在 p 型硅晶片的表面制作外延生长层

Doc. 这种技术目前已经进步很多了，但本质上就是将薄的硅单晶体附着在其他单晶体上的制作方法。请参考图 2。

外延式本身包含了使相同的晶体重叠的含义。加工时，先将硅晶片加热到高温状态，再送入蒸气。

Mako 是蒸气吗？在图 2 中写的是 SiCl4 和 H2 啊？

Doc. 嗯，说成蒸气可能会产生一些误解，这里实质是指硅的化合物的蒸气。例如，送入 SiCl4 时，由于硅晶片的高温作用，使之分解成 Si(硅)和 Cl(氯)，它们将会重叠在单晶体(p 型基板)上，谓之生长。此时，如果以极少的量一起将其他元素如 As(砷)等的蒸气送入，成长起来的硅就是 n 型的。

Mako 就是说，这样就形成了 p 型上有 n 型的二层结构的半导体了。

• **制作氧化膜**

Doc.　将这种具有外延生长层的硅晶片再次加热到高温，随后送入氧气，就形成了图 3 所示的氧化膜。

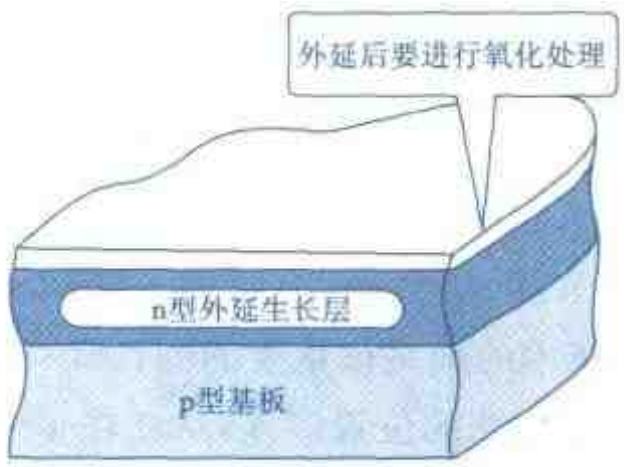


图 3　在外延层的表面进行氧化处理

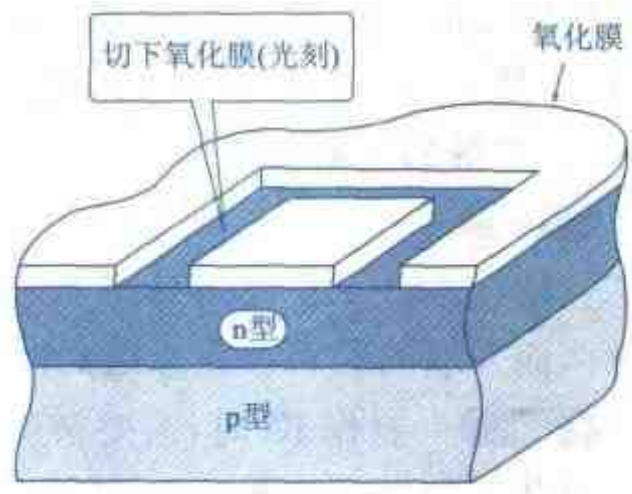


图 4　光　刻

Mako　在硅的表面氧化能够形成氧化膜是不是就像铁的表面生了一层锈一样啊？

Doc.　倒是很相似，不妨就将它想象成在硅的表面形成一层“硅锈”。但重要的是，必须明确，这层氧化膜的好坏将对晶体管的性能造成直接影响，通过图 4 及以后的说明可以明白其原因。

• **为什么要光刻氧化膜**

Mako　图 4 中，对氧化膜做了光刻处理，这有什么必要呢？

Doc.　如果将被光刻的硅晶片再次加热到高温（1 300℃左右）并送入 B_2O_3 之类的含有 B（硼）蒸气时，B 就会慢慢地渗入到 Si 中，从而形成 p 型晶体并慢慢加厚。就这样，随着 p 型的范围逐渐扩大，最后与作为基板的 p 型合成一体（参见图 5）。

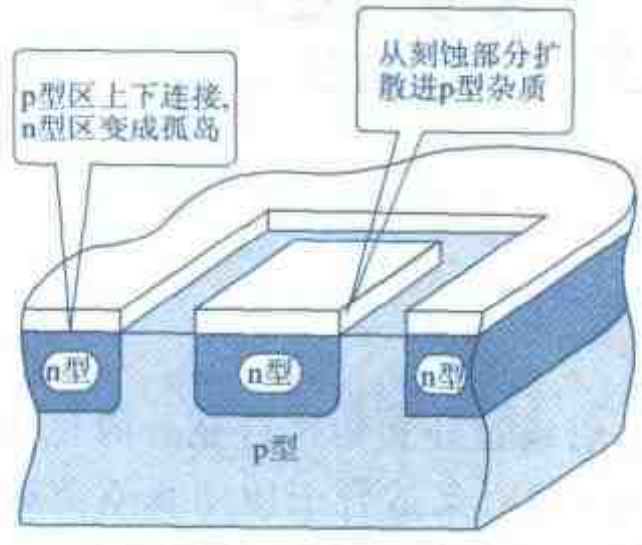


图 5　扩　散

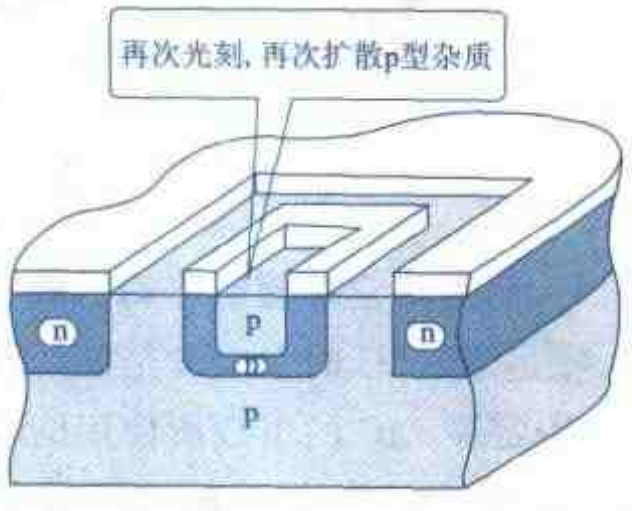


图 6　二次光刻后的扩散

Jiro 由于有氧化膜的地方可以阻止 B 的渗入，看来氧化膜还真是重要啊。

Doc. 利用光刻将杂质蒸气送入，使之渗透进去，范围不断扩大的过程称为扩散或隔离扩散。要形成扩散，必须使用加热设备和送入杂质的气体发生器，这些是在半导体的制作上的最重要的设备。

• 扩散的重要性

Jiro 如果在一次扩散过程之后，如图 6 所示，再施行一次扩散，就形成了三层(p^+n^+p)的半导体了。在这种制作 IC 的工艺中，为制成 p 型和 n 型半导体而采取的利用杂质渗透到硅中的扩散技术的确是很重要的啊！

Doc. 制作 IC 时，需要杂质的原子能在预期的位置渗入，从而在 1 个硅晶片中各个位置分别形成 n 型和 p 型，总体上构成具有一定功能的电子电路。因此，为了使杂质渗透到硅中，首先就要处理扩散问题，使之尽早稳定下来。即使在硅上沾染了少量杂物，这些杂物也会因高温而烧掉，不会污染表面，因此，扩散过程是无尘的，这就像在一间干净的屋子里进行操作是一样的。

利用这种工序加工出来的 IC 的截面(部分)如图 7 所示。

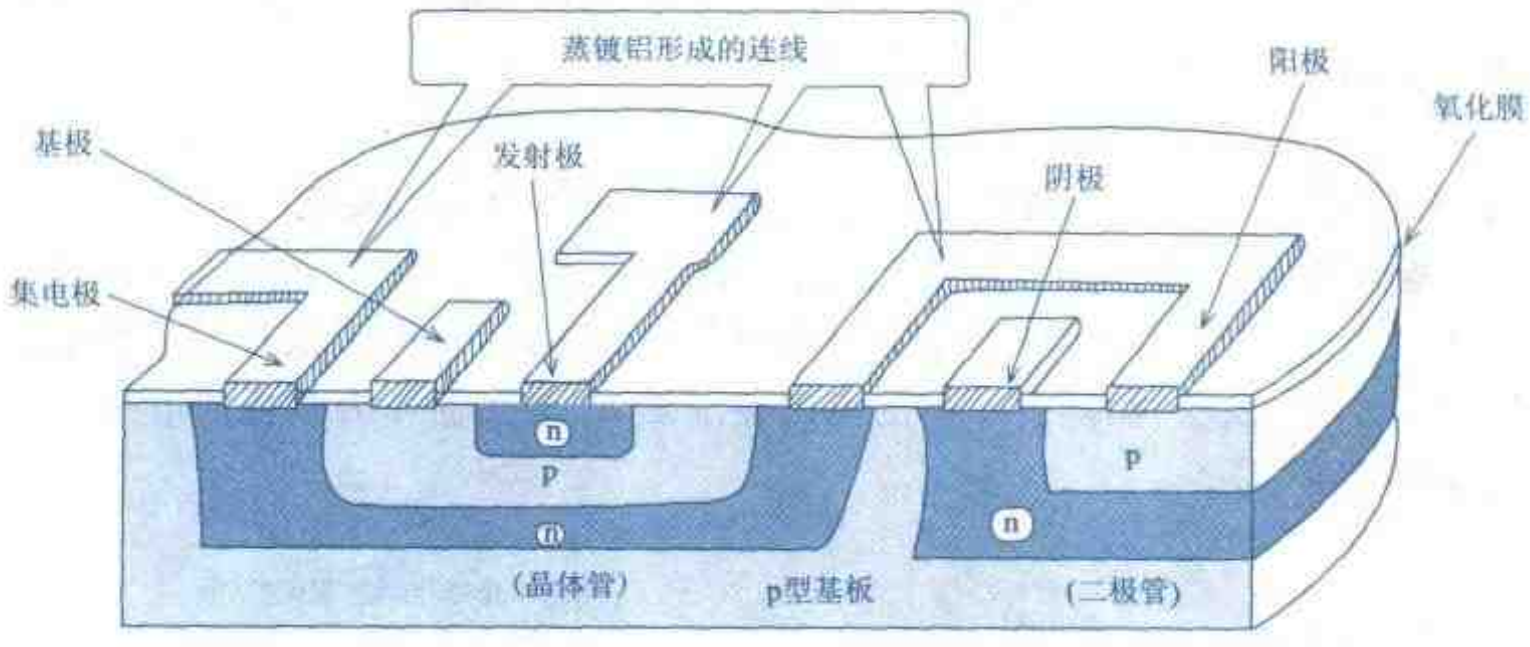


图 7 IC 的断面示例

• 利用真空蒸镀制作铝引线

Jiro IC 的引线又是如何制作的呢？

Jiro IC 的引线所使用的材料是铝，引线是硅和铝进行充分的化学方式结合的产物。使用铝的原因是其阻抗较小，同时又适合于使用真空蒸镀工艺。这里所谓的真空蒸镀，就是指将金属在真空中加热并熔融，直至蒸发，再附

着在邻近的物体表面上而形成薄膜的制造过程。利用这种工艺形成的引线如图 7 所示。

自我挑战

问题　在硅原子中渗入杂质时，为什么使用 B(硼)和 As(砷)等元素呢？

答　B 为 3 价的原子，As 是 5 价的原子，因此，如果在晶体的某处要形成 p 型半导体时应扩散 B，而要形成 n 型半导体时就要将 As 进行扩散并渗透进去。

12 IC讲座(III)

——何谓LSI





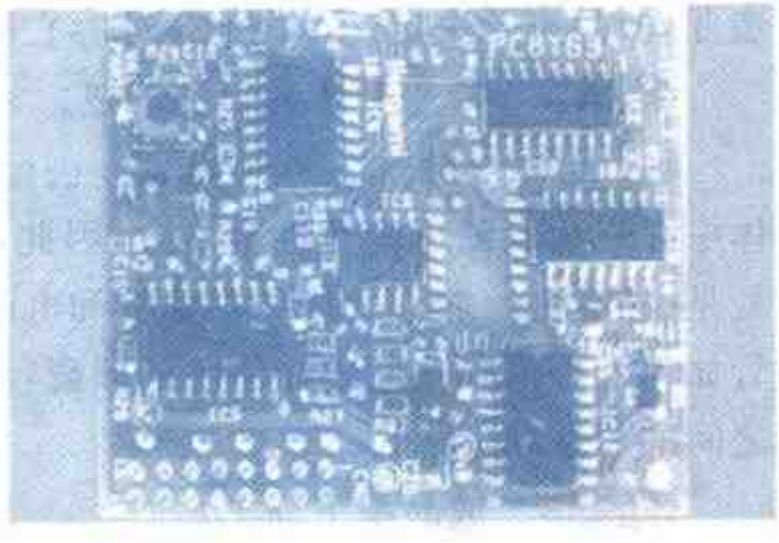
LSI的内部结构

Mako 我听说比IC功能更强大的是LSI,那LSI又是什么呢,Jiro?

Jiro LSI是Large Scale Integration的缩写,就是大规模的集成化电路之意。

Mako 就称为大规模集成电路吧。可是,IC就在很小的芯片中以晶体管为核心所组成的大量电路,如果将LSI视为将IC的规模扩大来考虑,是不是就是将芯片的面积扩大,电路也增加的结果呢?

Jiro 我也是这样理解的。



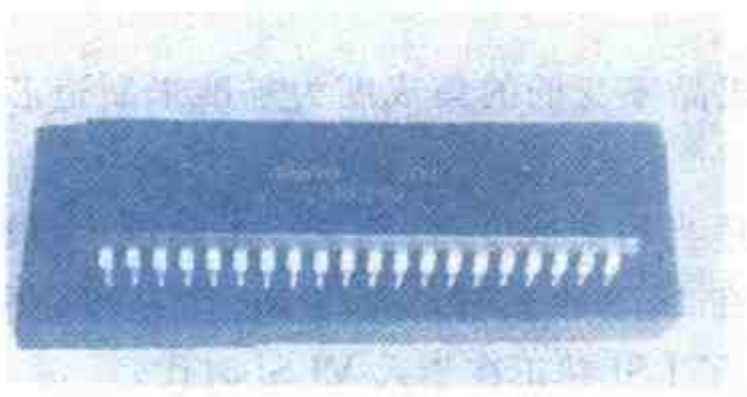
照片 1　采用多片 IC 的电路

Mako　在以前有关 IC 的讨论中我们知道，IC 芯片的集成度（在一个芯片中集成的元器件数量）逐年递增。例如，1975 年为 10^3 个左右，1985 年增长到 10^5 个左右，而在 1995 年就达到了 $10^6 \sim 10^7$ 个。从这种增长的形式来看，在增大芯片的面积时，是不是在 LSI 的制造技术上还有什么问题必须要突破啊？

Mako　Mako，你的意思是说，如果扩大芯片的面积会遇到制造上难以克服的困难，因此，不能用这种方法来提高集成度是吗？那么，先生，这种困难究竟是指什么呢？

Doc.　你们说的很有意思，请看图 1。这是一块在印刷电路板上用很多 IC 搭成的电路，容易想到，这需要花费很多工夫才能实现。那么，如果将这个电路全部集成在一个芯片中，谁都会明白，那将是再方便不过了。正是这种想法促进了 IC 技术的进步并产生了 LSI，目前已经进入了 VLSI 的时代了。

Jiro　字母 V 就是 Very 的第一个字母吧？



照片 2　电子表的 LSI

Doc.　是的。这称为超大规模集成电路，参见图 2。这是一块具有计时功能的 LSI，全部共有 40 个引脚。利用 LSI 的这些引脚来接收作为时间步进基准的模拟信号，以及时间调整、复位等信号，LSI 自身负责控制所有的计时功能，驱动 LED（发光二极管），从而构成了计时用的大规模集成电路。

如果能在这样的一个容器中集成某一方面的全部功能，应该说是非常方便的。只是，再回到前面的话题，为什么在 IC 技术发展的开始直到今天也没有出现这样的 LSI，原因就是产品的成品率问题。

集成度提高后成品率为什么会降低

Mako　成品率是指什么而言的呢？

Doc.　成品率也就是产品的合格率。在 IC 和 LSI 等的半导体产品的制

造业，成品率是决定一个企业生死存亡的关键。

Jiro　请您具体解释一下吧。

Doc.　目前，芯片的集成度已经非常之高，如果再扩大芯片的面积，晶体中存在瑕疵的可能性也会增大，因此，要确定好芯片的最适当的集成度。这就是说，在一个芯片中增加晶体管和电阻的数量时，如果要增加芯片的面积，不管如何处理都很难除去晶体中的瑕疵，反面会使成品率下降。成品率和集成度之间的关系如图 1 所示。

Mako　成品率下降了。

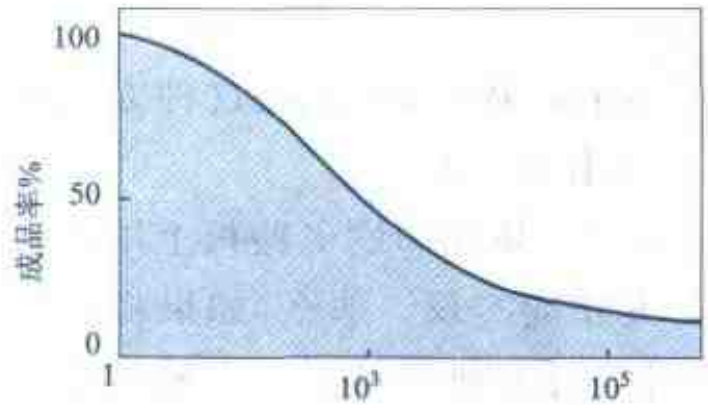


图 1　成品率和集成度的关系

Doc.　是的。当然，这种集成度也会随着技术的进步而得到改善……

Mako　如果提高集成度会使成品率下降，那是不是在芯片中就应该集成少量的元器件好呢？

Doc.　不是这样。一个芯片中的元器件数量决定了每个元器件的价格，尽可能多地集成元器件，就会使每个元器件的价格降低，这才能得到较低廉的 IC。

Mako　如此看来，应该是以不使成品率变低的集成度为基准来制造芯片吧？

Doc.　对，这就是刚才所说的最适当的集成度，而随着技术的进步，最适集成度的最小值已有很大提高。此值在 1970 年左右是大约 10^3 个，1990 年则达到了 10^6 个。这说明，已经完全进入了 LSI 并正在步入 VLSI 时代。

何谓 MOS LSI、ROM、RAM

Doc.　我听说多数 LSI 属于 MOS 型的结构，这是什么意思啊？

Doc.　计算器用的 LSI 就是其中一例，而 MOS LSI 的最大用户就是计算器。所谓 MOS LSI，就是在硅的单晶体基板上，以 MOS 型 FET 为主构成的电路，其中的 MOS 型 FET 具有如图 2 所示的结构。由于这种结构简单，可以达到较高的集成度，因此，LSI 多采用此种类型来制作。

Mako　MOS 型 FET 就是前面学过的电场效应晶体管吧。MOS LSI 自

然就是采用这种晶体管制作的 LSI 啦。

Doc.　不错。MOS 的来源是 Metal(金属)、Oxide(氧化物)和 Semiconductor(半导体),是这三个单词的缩写。请参见图 4。

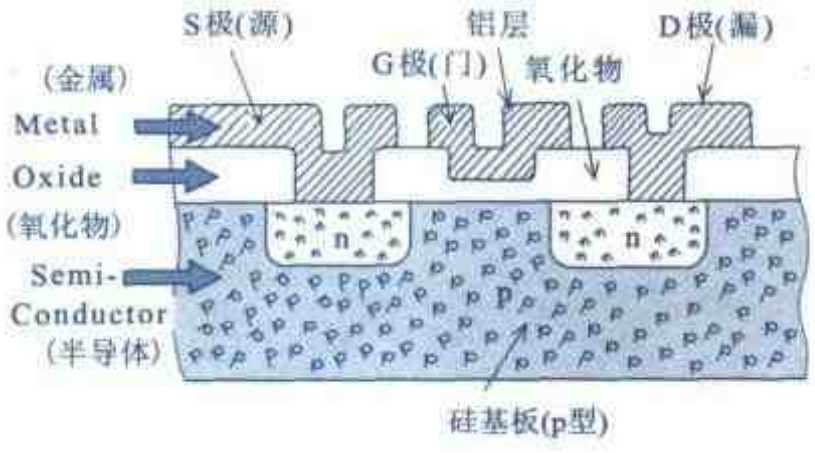


图 2　MOS LSI 的结构示意图(FET 部分)

Jiro　我以前也听说 LSI 在存储器领域中具有重要的作用,以及 ROM 和 RAM 等名词,但对细节还是不太了解。

Doc.　存储(memory)就是指“记忆”。利用 LSI 构成的存储器就是具有记忆功能的 LSI。从计算机诞生之日起,就使用具有记忆功能的磁盘和磁芯(一种小的环形磁性材料)来存储数据,但这种材料的数据读出和写入的速度非常低,不可能将其与 CPU(中央处理器,与计算机的电脑相当)直接进行交互。而在半导体制造技术蓬勃发展起来之后,利用晶体管构成的具有记忆功能的 IC 存储器、LSI 存储器的价格日益下降,逐渐被广泛采用。

Jiro　这些存储器可以直接与 CPU 进行交互吗?

Doc.　正是。电子电路已成了整个设备的一个组成部分,其用途极为广泛。存储器可大致分为 ROM 和 RAM 两种。其中,ROM 是 Read Only Memory 的缩写,意为只读存储器。计算机的用途广泛,但到底要按照什么样的步骤进行计算,要将其编写成程序,并事先存储在 ROM 中。RAM 是 Random Access Memory 的缩写,是一种可以随机读出或写入的存储器。

Mako　电子电路世界真是奥秘无穷,难以预计将来会发展成什么样子啊!

Jiro　我们一定尽自己的所能,努力学习,掌握更多的知识。谢谢!

自我挑战

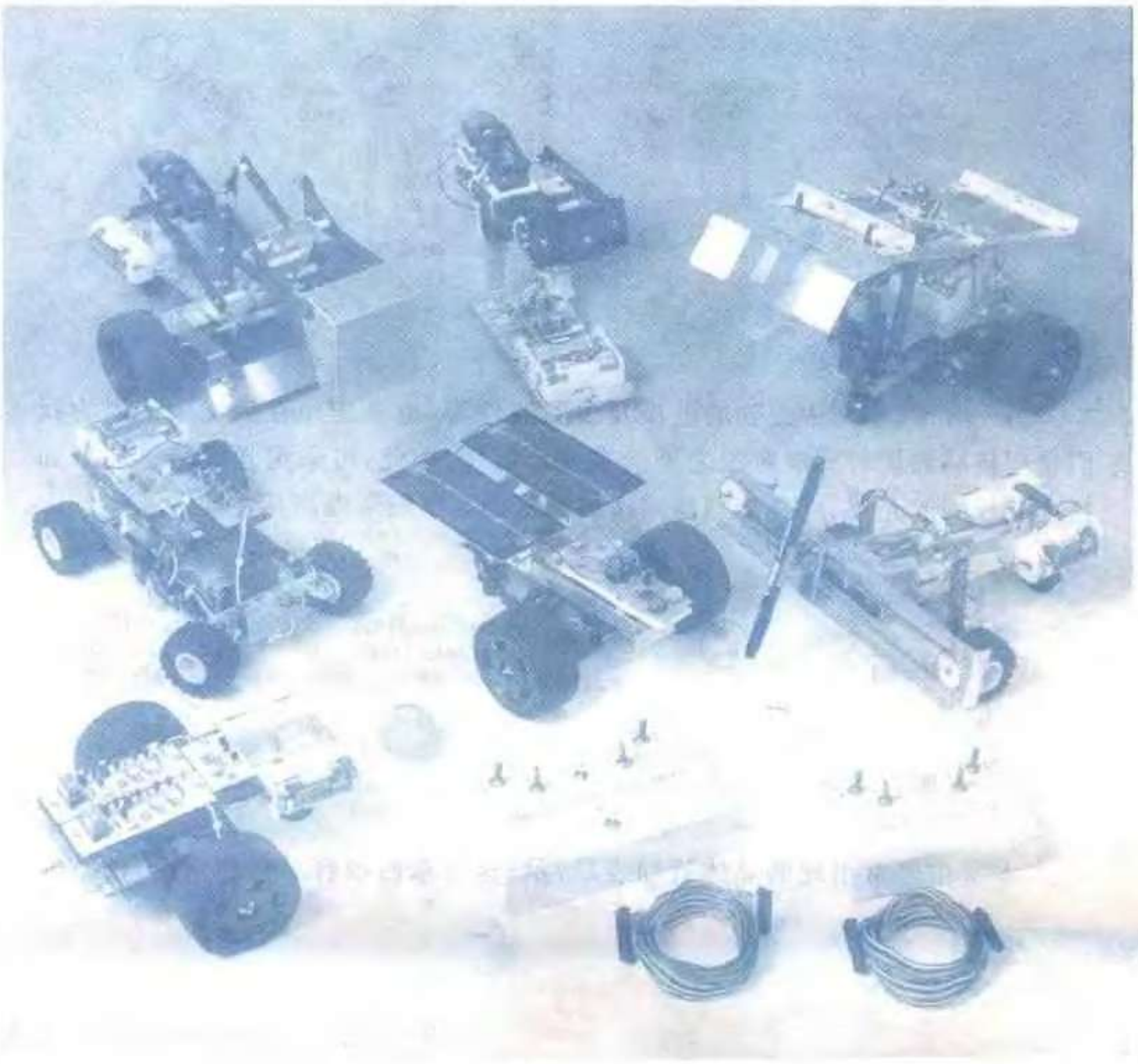
问题　为什么说当提高 IC 芯片的集成度时会影响成品率呢?

答　当提高 IC 芯片的集成度时,必须扩大 IC 芯片的面积,而一旦面积扩大,就很可能碰到晶体的瑕疵,自然会影响产品的合格率。不过,随着技术的进步,这一点也将会得到改善。

第二部分 微型机器人手工制作入门

第1章

工作入门的心得笔记



1 电路的构成

图 1 中所示为几种在模型及电子电路中经常使用的传感器，最普通的传感器用 100～200 日元(在日本当地是较低价格)左右就能买到。传感器的敏感对象种类繁多，互有差别。例如，一个光敏传感器对声音就不会有反应。此外，它们的电气特性也各不相同，根据需要可将它们组合起来构成一个组合电路。传感器的种类非常丰富，分门别类，从气压传感器到生物传感器应有尽有。

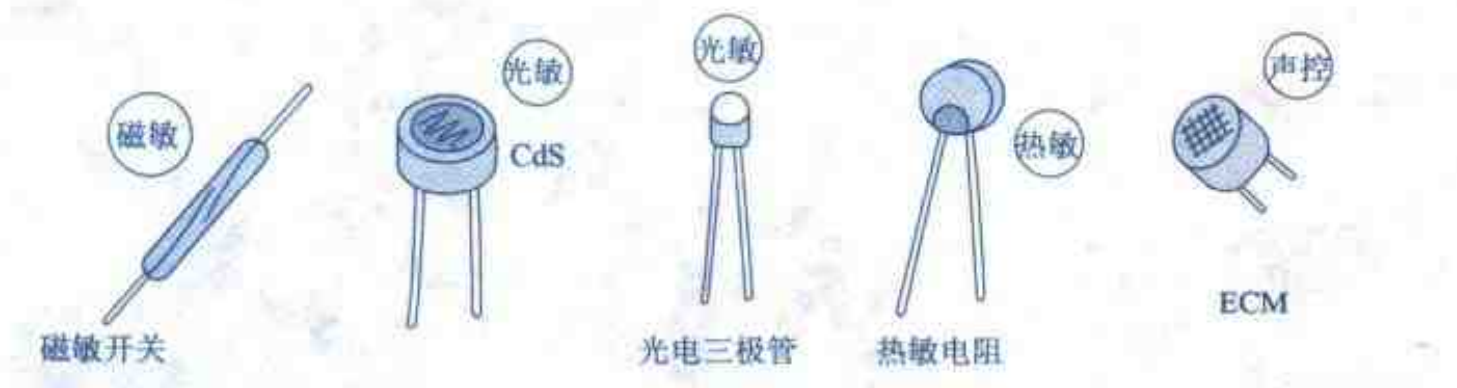


图 1　有关传感器

另一方面，本文中提到的电极及线圈器件等，也会出现在后文中。因为我们希望传感器能对感应对象之外的东西不敏感，因此，可采用光敏传感器添加特定波长的遮光罩、声音传感器则添加滤波器等措施来提高其性能。

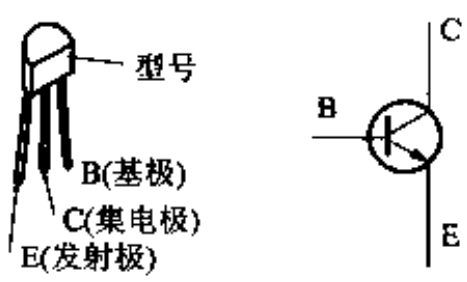


图 2　有关晶体管

表 1

2SC945（日电） 2SC1815（东芝） 同规格	2SC2001（日电） 2SC2120（东芝） 同规格
放大用	功放用

本文中经常出现的晶体管如表1所示。这些东西很容易买到，价格便宜而

且性能稳定。左侧的晶体管一般用于电路放大，右侧的用于功放，主要用在电动机电路中。即使生产厂家不同，只要其规格匹配，也可以配合使用。

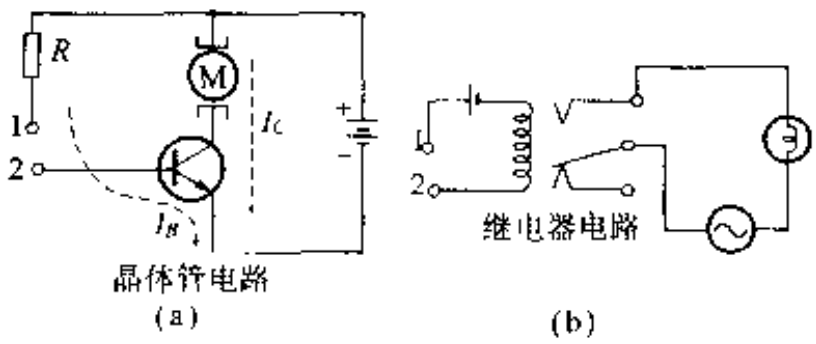


图 3　有关晶体管电路

晶体管电路的基本构成与继电器电路相似。如果在继电器的线圈中加上少量的电流使节点接通，则会导致有更大的电流通过此节点。在晶体管中，如果有 μA 级的少量电流通过其基极的“+”端的电阻，则集电极端将会有 mA 量级的电流通过。单从这一点来看，好像是直接用开关来开闭电动机就可以了，但如果只要产生 μA 量级的变化就能满足要求的话，我们就可以考虑将其改换成传感器来解决问题。试着把磁敏开关、CdS，以及 ECM 暂时与 1 及 2 连线，结果是有的能工作有的不能(参见图 3(b))。其中，能工作的只有磁敏开关自己，其原因应该是基集没有足够的电流通过。如果稍作一下改进，把两个晶体管按图 4(a)所示的方式连接到电路中(称为达林顿连接)，即将两个晶体管用作 1 个晶体管，此时的放大系数为：

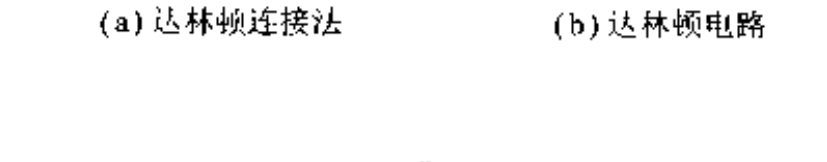


图 4

Tr_1 的放大系数 × Tr_2 的放大系数 = 达林顿的放大系数

显然，这使放大系数得到了明显提高，称其为 h_{FE}。

现在，在达林顿电路中加上 CdS 及光电晶体管，发现电动机转动。这说明，即使 CdS 的变化量很少，达林顿电路也可进行充分地放大。若在此电路中加入光照则电动机就会工作。现在我们要考虑的问题是，要想在较暗的情况下也能使电动机工作应该如何处理。这里，先将达林顿电路的基极通过 R 加上电压，将 CdS 按图 5 所示移向基极和电源负极之间时，其动作相反。此时，如果没有较大的明暗差是不会引起什么变

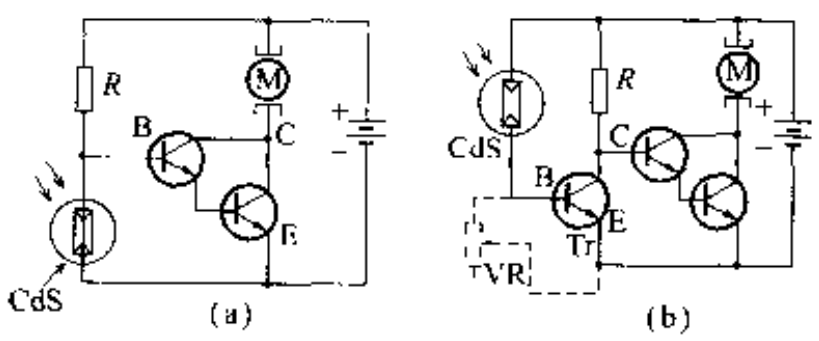


图 5

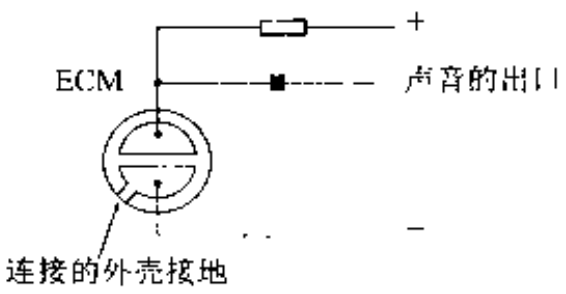


图 6

化的。那么，我们可以考虑(b)图所示的新的晶体管使用方法。这种情况下，如果没有光线进入 CdS，则新的 Tr 中不会有电流通过，即 Tr 不工作，这使达林顿电路中的电流在 R 中流过，使电动机转动。当光线充足时，Tr 工作，CE 极间处于导通状态，R 的电流通过 CE 流向负极，达林顿电路不工作。此外，电路中增加 V_R 还可调节敏感度。

在上述电路中有一个问题需要注意，电动机虽然能工作，但其启动和停止并不是随开关的开闭立刻产生动作，感觉上一些迟钝。这里，如果对输入进行一定程度的限制，就可以使其反应灵敏。由此就可以得到自动跟踪太阳移动轨迹的施密特电路。

到此为止，已经可以充分实现放大了，但加入 ECM(声敏传感器)仍不会有任何反应。这并不是因为放大幅度不足，也不是因为传感器所采集到的信息变化量太小，而是传感器的使用方法有问题。因为 ECM(Electrolyte Capacitance Mic)的内部置有 FET 型晶体管，必须采用电容使输出的声音信号能从直流中分离出来。

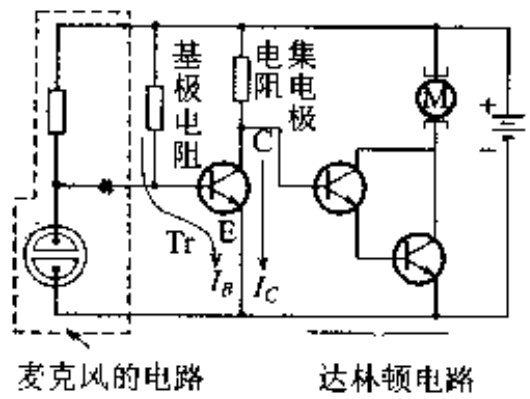


图 7

这次将 Tr 按图 7 所示的方式连线，在输入端使用 ECM 的电路。因为平时有基极电流通过，故达林顿电路不工作。当 ECM 中有声音输入时，I_C 产生变化，电动机就会转动。此外，在 Tr 和 ECM 之间加入单稳电路时，就构成了同步机器人电路，可以将一次输入保持一定时间。

图 7 中采用的集电极电阻的阻值要比常用的大一些为宜。

2 塑料(丙稀树脂)材料的加工

塑料耐氧化耐热，也容易上色，表面如玻璃般平整光滑，且容易加工。因此，不仅在制作模型，包括工艺品制作，以及理工科实验用具的制作和家庭用品的制作等方面都有应用，产品多彩多姿。此处将根据我自己的工作检验，介绍一下用于与处理塑料材料有关的内容，包括工具和材料的特点、黏接工艺以及类似的材料等方面的知识。

制作加工时所必需的工具

君欲善其事必先利其器。实际工作时，零零碎碎的工具还真的需要不少。当然，如果只是偶然用一下，甚至有可能特意买来的工具一年也用不上一次，那么，开始时就没有必要买那些昂贵的电动工具，只找齐一些手工加工工具就可以了。对于丙稀等塑料材料，进行切、削、钻孔和折弯等加工时需要使用如图 1 所示的工具。

切刀(刻刀)是在将塑料板材按一定规格划出刻痕并从此位置将其折断时使用的工具。挫则用于将切口修整平滑，特别是在削去某些形状时经常使用。常用的锉刀长度在 20cm 左右比较合适，如果进行更细的加工，则可以选择 5 件套的组挫。丝锯(钢丝锯)可用来切割复杂的形状。当然，丙稀塑料的碎末疏

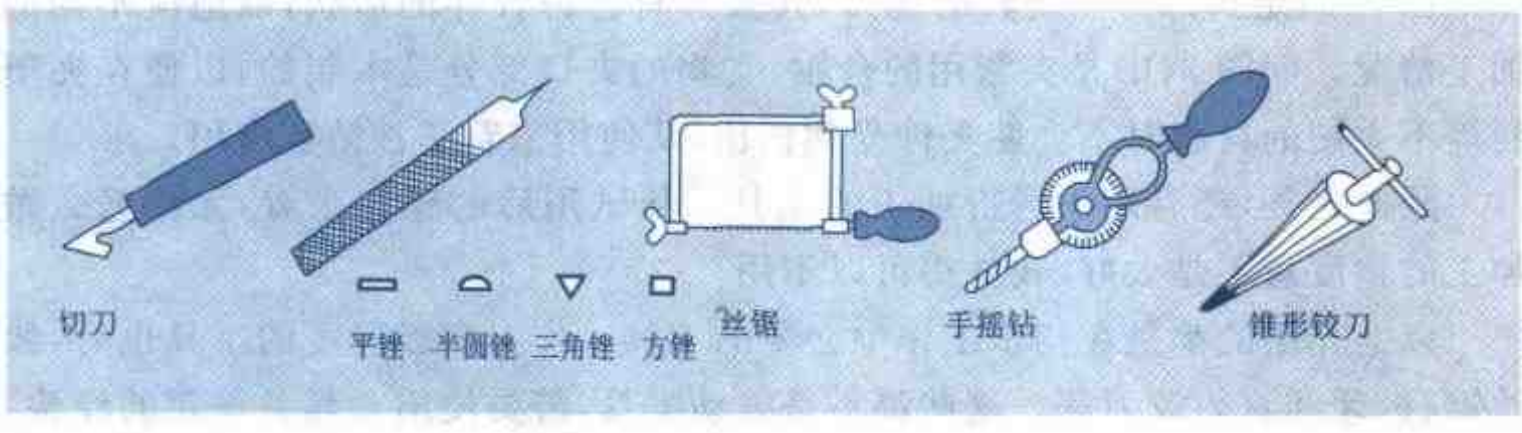


图 1

松，用丝锯较容易加工，但苯乙烯板有时会夹锯，不太容易处理。不过，如果丙稀板过厚，摩擦的热不易及时散发，也会发黏，一般 2～3mm 的厚度没有什么问题。手摇钻是钻孔必需的工具，通常最大可以钻 6mm 左右粗细的孔，如果孔径过大，可以改用锥形铰刀来加工。这些是加工时所使用的工具，以下请看组装时需要使用的工具，参见图 2。

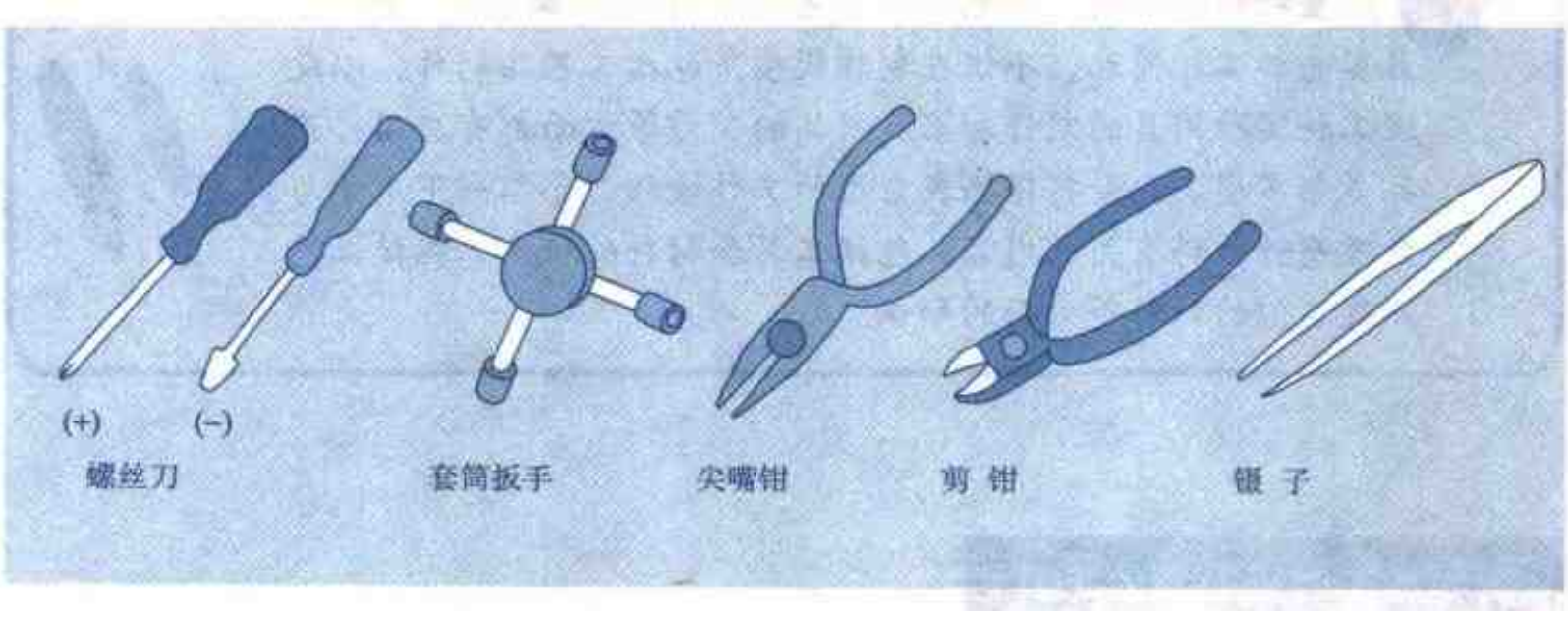


图 2

平口和十字螺丝刀(改锥)都是必备的工具。现在的螺丝刀多带有磁性，使用起来极为便利，螺丝刀的大小可选择能拧紧 3～4mm 的螺丝即可。套筒扳手的种类很多，图中所示为 2 件套的套筒扳手，能拧紧 2～6mm 的螺母。因为是十字结构，转动时需要充分用力。这种扳手的规格表示是指扳手的对边尺寸，如果是 10，则表示六边中平行的两边之间的尺寸是 10mm，也就是说用于拧紧 6mm 的螺母。尖嘴钳、剪钳和镊子等是常用的工具，无需说明，购买时主要以咬合紧密为宜。

下面对图 3 中所示的工具也略做介绍。

图 3(a)是头部可以旋转的锉刀，其头部有各种各样的形状，以适应不同的加工情况。而图 3(b)是夹紧用的台钳，实物的夹口部分是木制的，以便在夹塑料等不太硬的材料时不会使夹件受到损伤，从使用来看非常结实耐用。

除此之外，还有用于弯折加工的工具。从试用后的感觉来看，无论怎么做加工的精度总不是太好，我觉得可以不用。

以上介绍的都是在初步工作中必要的工具。作为中级程度的工具也有，如丝锥、板牙和直刃铰刀等。这些都不是电动工具，需要使用者具备一定的经验，以下从使用者的角度略作说明。

在购买丝锥时都是 3 件套的，分别是前锥、中锥和后锥，或者称为第一、第

二、第三锥也可以，使用时也按此顺序钻孔。对于像塑料之类的材料，并不一定非要按此序用这些丝锥来扩孔，然后再上螺丝。在加工时，不要一下子将丝锥拧进去，因为要带出积屑，应采取拧几圈后退回的方式进行加工。加工前要在丝锥头上抹些机油。如果不进行处理，在拔出丝锥时，就有可能因为黏性造成丝锥脱扣或折断。加工时经常会遇到丝锥折断，不能从钻孔中拔出的情况，结果加工了半天的材料还不能用，这一点应予以充分注意。

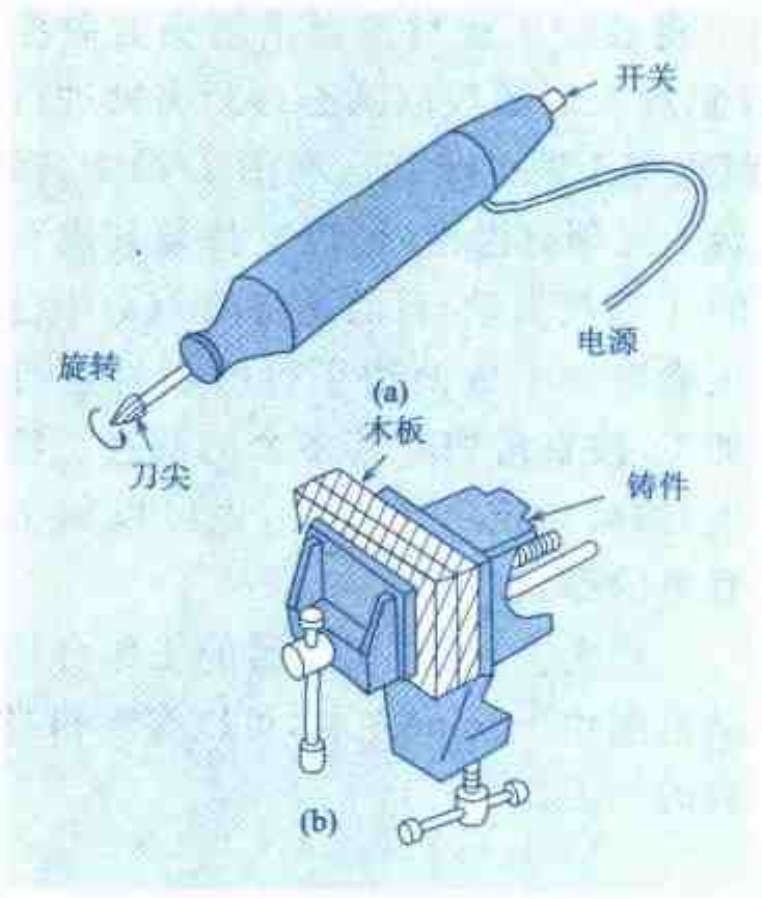


图 3

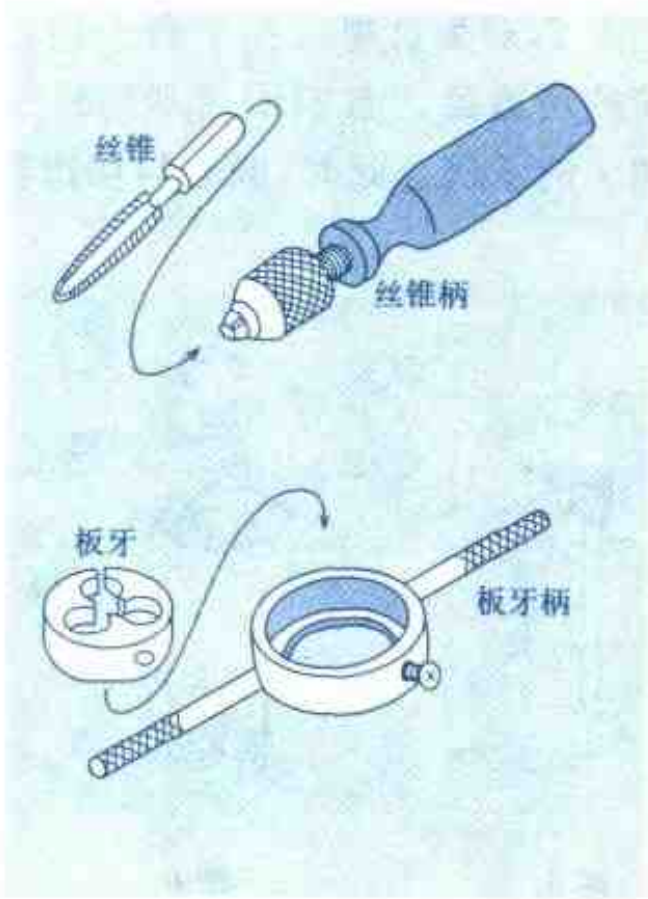


图 4

其次的板牙是制作公螺丝的工具，不太常用。简单地说，使用的诀窍就是将要加工的轴头部加工得稍细一些，使板牙容易插进，而实际加工时，可以先在板牙上涂上机油，每向右转 2～3 圈之后，再往回倒一圈左右，这样不会使螺纹牙受到损伤。与丝锥不同，板牙只使用一个。

丝锥和板牙可以选用 3、4mm 左右的，板牙有一个手柄，如图 4 所示，它的作用是使板牙更容易转动，在选用时已容易使用为好。

介绍完上述工具后再来说说一个使用起来很方便的自制工具。我觉得一些工具店或家庭用品商店有可能出售（我好像在哪里见过）。这个工具可称为切边器，如图 5 所示，其顶端是一套可旋转的刀刃，用于加工木质或塑料材料。这个工具比图 3 所示要大，当然可以附在电钻等工具上使用，不过我直接使用了一个无线电遥控车中用的大型电动机去驱动，参见图 6。为了将其固定在电动机轴上，加了如图所示的紧固螺丝，且切边器的轴必须要留得短些。由于此

轴采用的是工具钢材料，极其坚硬，必须用研磨机等将其截断。电动机采用麻布其电动机的 RS-380 或 RS-540 较好。最初我想是不是可以将其做成手持式的，但觉得电动机的力量较大，有一定危险，就采用了固定式。不过，随着考虑的越来越细，我也逐渐对其进行改进，使之尽量便于使用，现在已经经过 3 次改进了。关于制作方法在以后进行说明，就是如图 7 所示的加工时所使用的工具。注意这不是一个切割用的工具，其主要作用是进行后期加工、润饰，如将切口处理平整以备正确地黏接等。切边器每转一周约可前进 1mm 左右。

图 7(a)为直规尺在平台上固定，用手将被加工板材慢慢沿箭头方向推向旋转的切边器。图 7(b)所示是将一个经粗加工的圆板以圆心(φ3)为轴进行精细加工的示例。此时，圆心与切边器的距离等于圆的半径。在图 7(c)中，操作台上先刻有沟槽，可以支持与其成直角的 T 型尺滑动，目的是将图 7(a)中已经正确地加工成两边平行的板材进行再加工，按直角切除其多余的两边。特别地，如果指定一个角度，也可以加工非直角的形状。

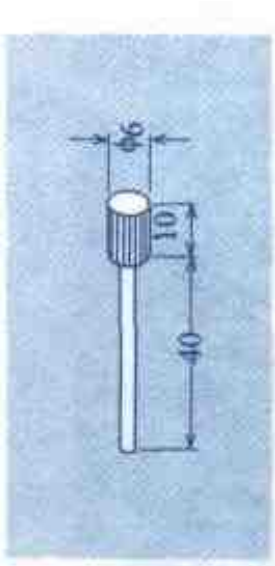


图 5

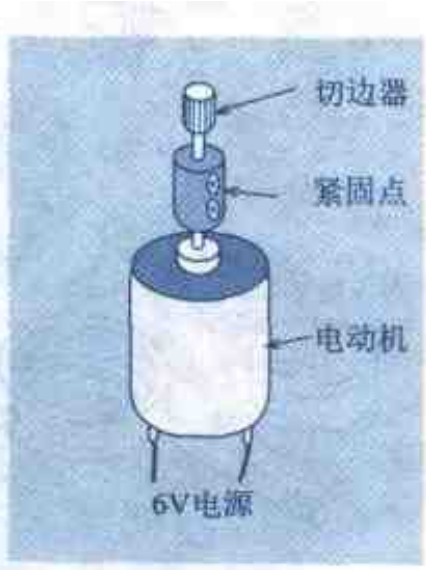


图 6

事实上，支撑切边器的工作台的移动范围约±5mm 左右，可以实现相当精确的加工。

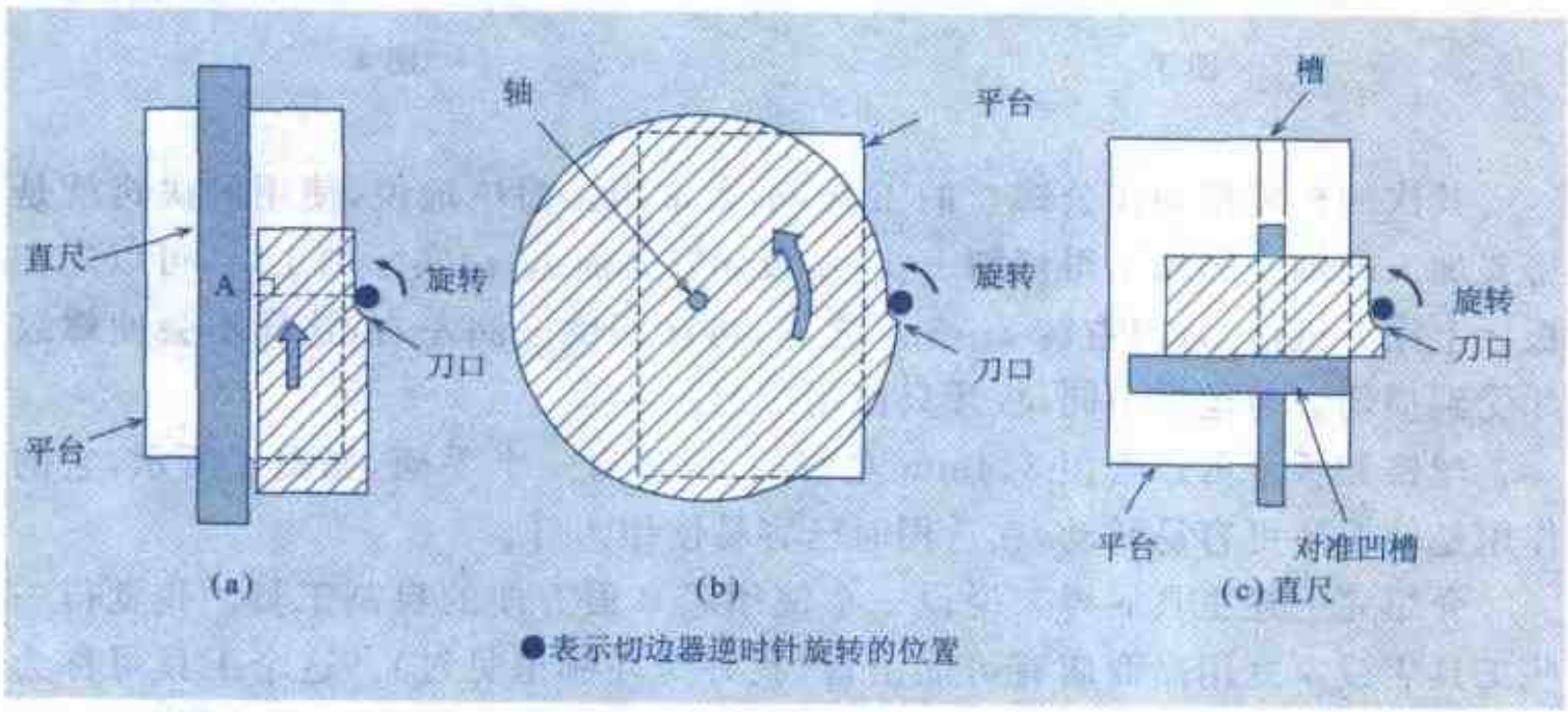


图 7

丙稀的加工

• 切　割

市售的丙稀板多为 2mm、3mm 以及 5mm 的板材，质地有透明的、透明但表面涂色的以及有色不透明的，除了板材外，还有管、柱等材料，这些基本属于透明材质的。

对于丙稀这样的塑料材料，可以按图 8 所示那样由外向内用塑料刻刀划出 V 型的沟槽。如果丙稀板表面有贴纸，第一次可以先从手边向外用刀将纸切开，再切丙稀板。用刀在丙稀板上划 4～5 次后，板就可以折断了。或者，如果板比较厚，也可以从两面来切。

按上述方法切开后，可以用锉刀等将切口修理平整，也可以像图 9 所示的那样用塑料刻刀的背在切口上按箭头所示的方向刮几遍，将切口刮平。

除了上述工具外，也可以用其他工具如钢锯，或切割塑料用的旋转锯以及机械加工用的锯来切割丙稀材料。

用丙稀刻刀来切出图 10 所示的虚线描述的形状是比较困难的，在折断这样的小块时很有可能产生裂纹。本来可能是想节约材料，如此一来倒适得其反，多浪费了材料。因此，应该像图 8 所示的那样，从一头切到另一头，这才是更合适的作法。

• 精细加工

有关丙稀的黏接一会儿将进行说明，所有的黏接剂是像水一样的快干剂。应该说，如果黏接面凹凸不平，不仅黏接时费劲儿，即使暂时黏上了也很容易断开。与两个丙稀板的平面黏接相比，更常见的情况是平面和横断面的黏接。因此，这种后期处理更显

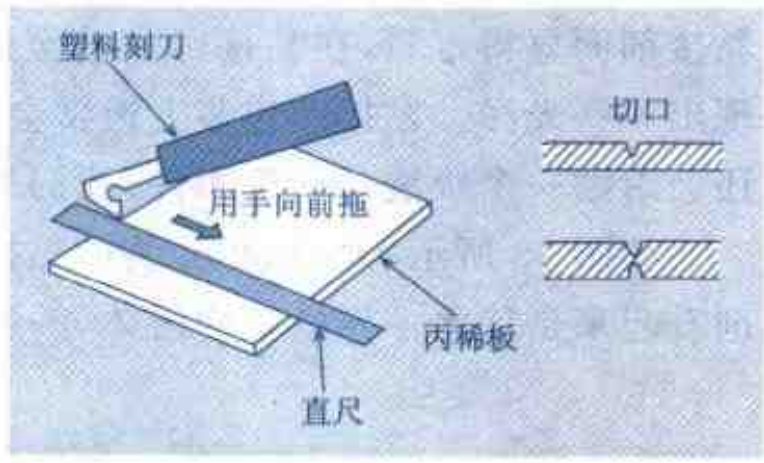


图 8



图 9

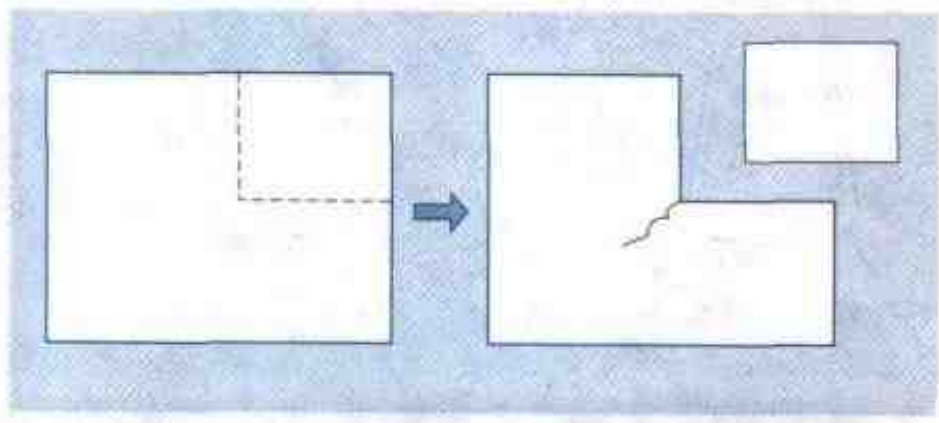


图 10

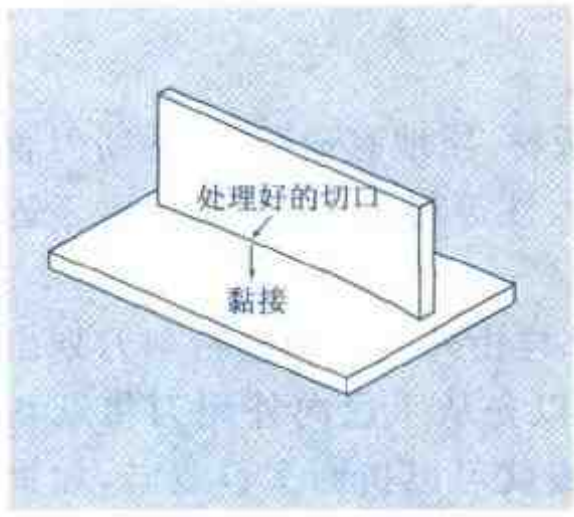


图 11

得重要。

正如前面所说的，可以用刻刀背将切口刮平，也可以用锉刀等将切口修理平整，但稍微处理不当，就会产生曲线状的切口，必须仔细处理才行。

即使用砂纸来打磨，也同样容易出现图 12 所示的曲线状切口，出现这种情况时就会使黏接后的丙稀板倾斜。

可以说，在丙稀板的加工中，最难的就是此项工作。由于它完全依靠手工加工，加工质量一目了然。因此，建议使用图 7 所示的加工处理方法。不过，由于这种工具没有地方出售，需要自己制作，希望大家能在这方面花点心思。

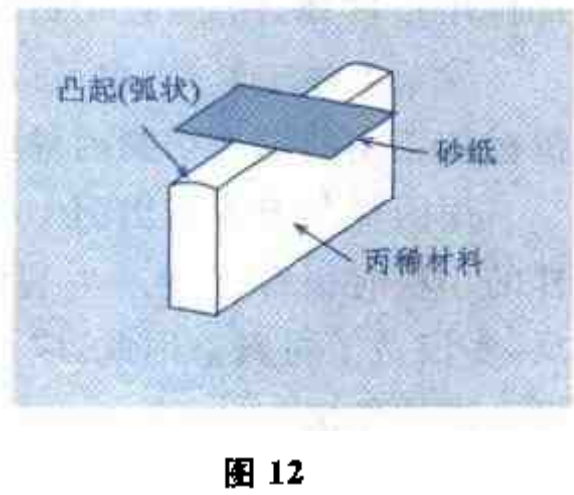


图 12

• 黏 接

丙稀的黏接剂属于专用材料，其黏接时间极短，而且即使是黏接透明的材料，也不会因黏接剂而显得难看，在黏接部位甚至还可以呈现出一些光泽。黏接剂包装上通常会写着丙稀树脂字样，从家庭用品店买来时还会附赠一个吸液玻璃管附件，我们来说说此吸液玻璃管的用法。

如图 13 所示，大约 30ml 装的黏接剂大约要 500 日元即可买到。这种黏接剂看起来是像水一样的透明液体，一般不会全用，应先将其部分灌入玻璃管内，

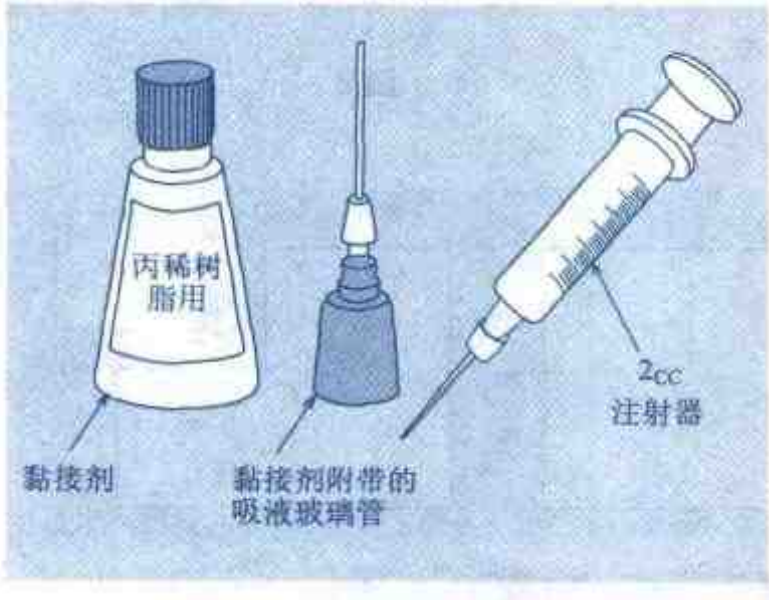


图 13

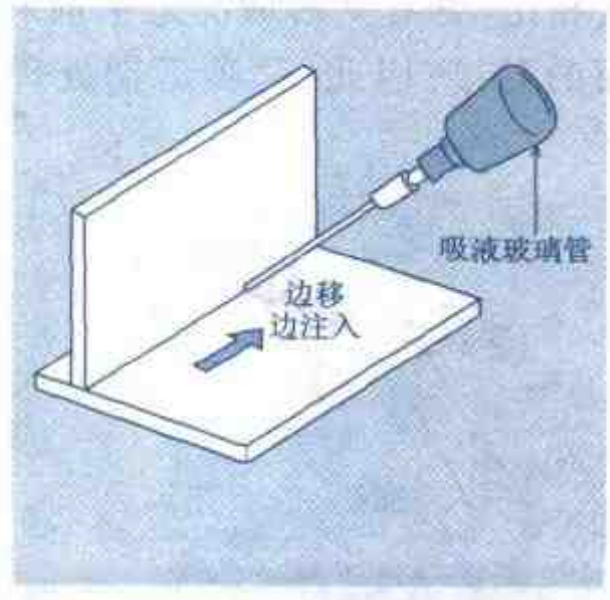


图 14

再由玻璃管沿黏接口流出，如图 14 所示。此时，黏接剂会因为毛细现象流入结合面，从外表是看不见的。如果黏接剂流到了外面，就会变成白色的浑浊物浪费掉，因此，用量应该适当。为了防止在灌入玻璃管时流到外边，我使用了一个如图 13 所示的 2cc 的注射器。如果确实流到了外面，要赶紧用手纸等将其擦吸干净。在 2～3 分钟后，结合面就可以黏牢了。

• 丙稀材料和静电

不止是丙稀，一般的塑料都容易带静电。特别是在加工过程中的静电，没有什么特殊的克服措施。虽然可以通过喷静电防护剂的办法来消除静电，但毕竟还是很麻烦的。如果黏合面黏上杂质和切屑，黏接时就再也没有什么美观可言了。因此，在加工完之后，应该将加工后的材料用水清洗，以简单地消除静电和灰尘等。



图 15

此外，也可以在加工时就带着材料表面贴的纸一起加工，在完成后再将纸揭掉，这样就会连因静电面吸附的灰尘一起揭下来了（参见图 15）。

• 丙稀以外的塑料板

在家庭用品店等销售丙稀材料的地方通常也一起出售氯乙烯等材料，如果不熟悉这些材料，可能只凭外观还不能区分它们，故请注意标签上的有关说明。氯化材料多用于建材，较柔软，表面硬度也较丙稀低一些，不适合用作那些易受损伤的工作用材。此外，使用的黏接剂与丙稀材料的也有区别，黏接用时较长，黏接力也较丙稀黏接剂弱，受力时容易弯曲，类似于弯曲成圆周形状的场合比较适用。市场上出售的这种材料的颜色与丙稀基本相同。除此之外，还有苯乙烯材料，这就是模型商店里能够见到的塑料板，如果需要 2mm 以上的厚苯乙烯板，要到专门的商店才能买到。这种材料常用于制作模型，因受热会变弱、变软，自然地，表面也容易受损伤，故属于容易加工的柔软性材料，可黏接制成塑料模型。苯乙烯是一种白色透明的材质，但容易上色。可以用于自制图 7 所示的加工机械，其外观如图 16 所示。

图中，直规、直角加工的角规和工作台表面的沟的两侧的板材都是丙稀板，也可以使用氯化材料。对于这些用于加工工具上的板材，您可能想到如何去加工这些板材自身的问题。事实上，只要刻出沟槽，就可以进行平行面加工，完

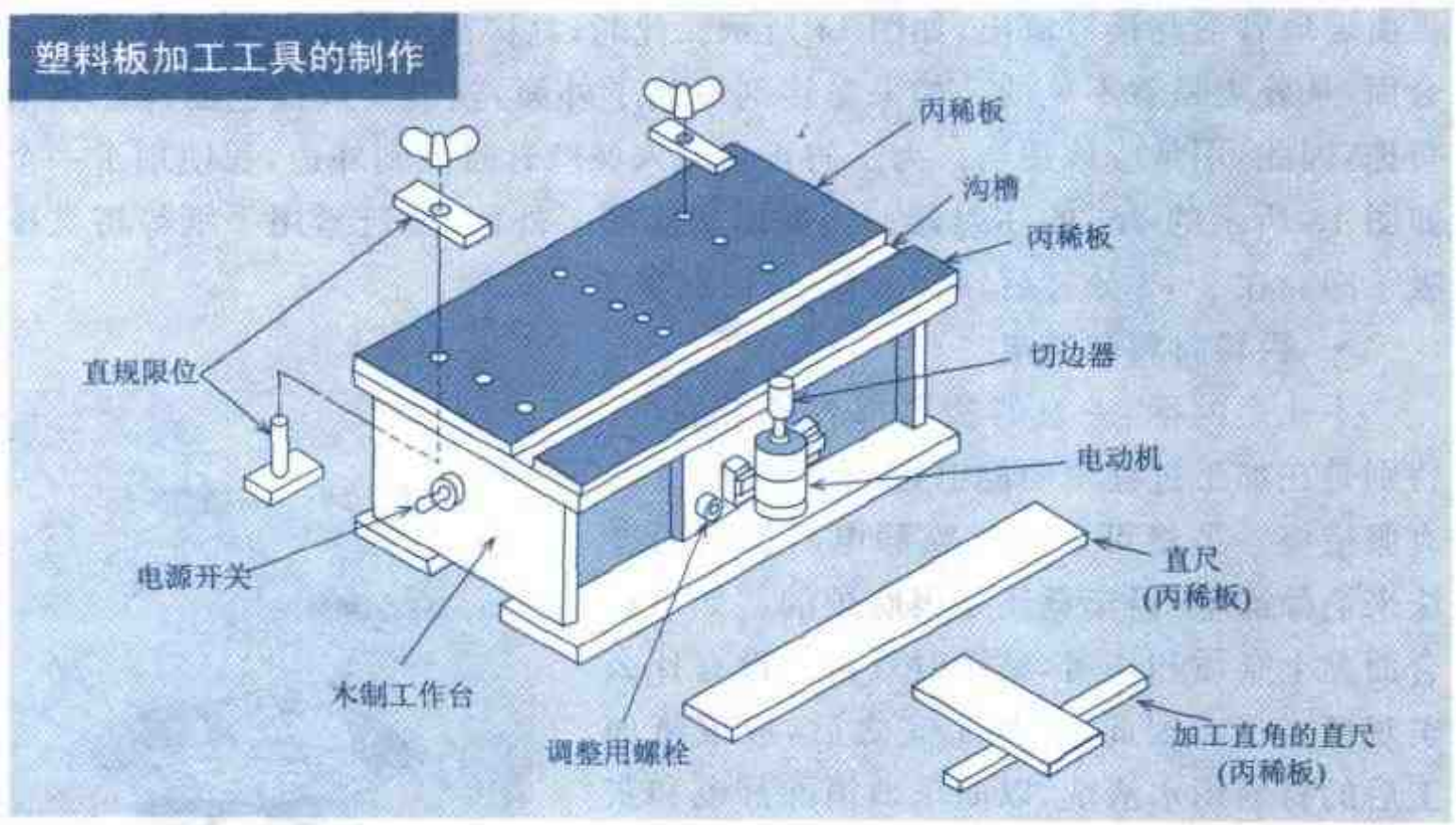
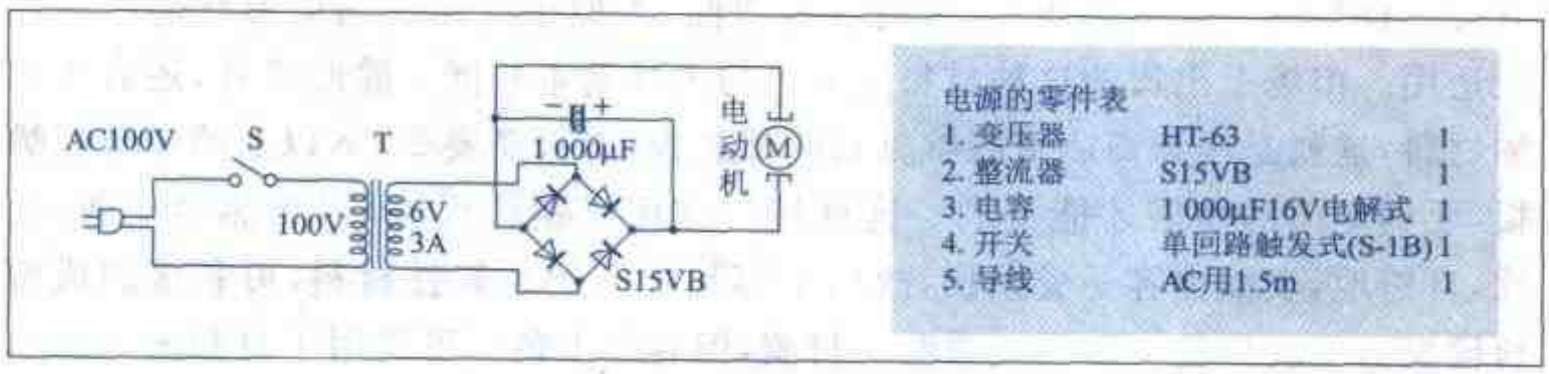


图 16

全可以先用这个最简陋的加工工具制作出它自身所用的直规材料和台子表面所用的材料。

此处所使用的电动机是 RS-450。这种电动机可以用到 12V，功率较大，有负载时需要消耗约 7A 左右的电流，而塑料加工时并不需要这么大的功率，故在其机箱内只安装了一个使用 6V 变压器的电源。



电源的零件表

1. 变压器	HT-63	1
2. 整流器	S15VB	1
3. 电容	1 000μF16V电解式	1
4. 开关	单回路触发式(S-1B)	1
5. 导线	AC用1.5m	1

图 17

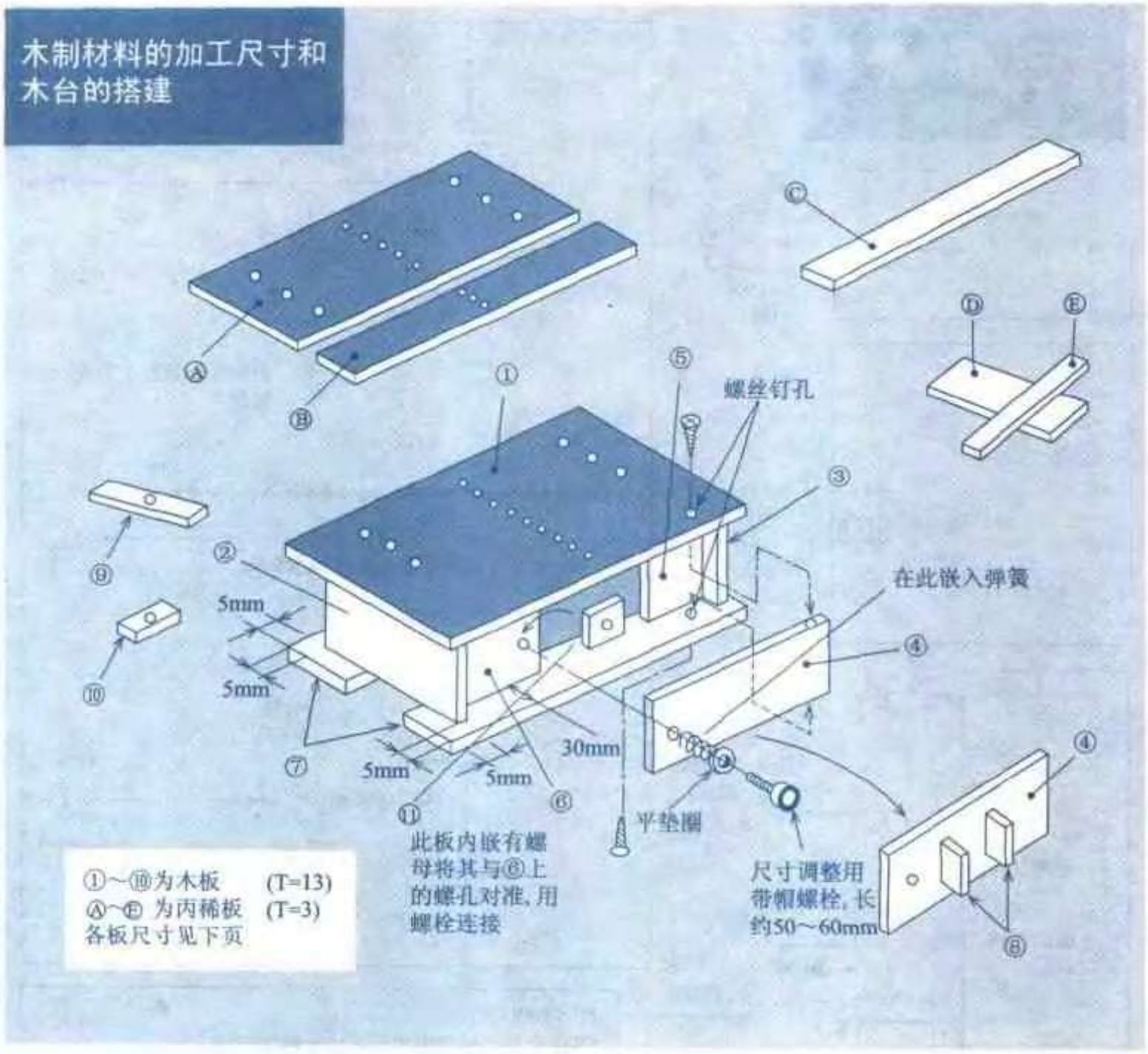
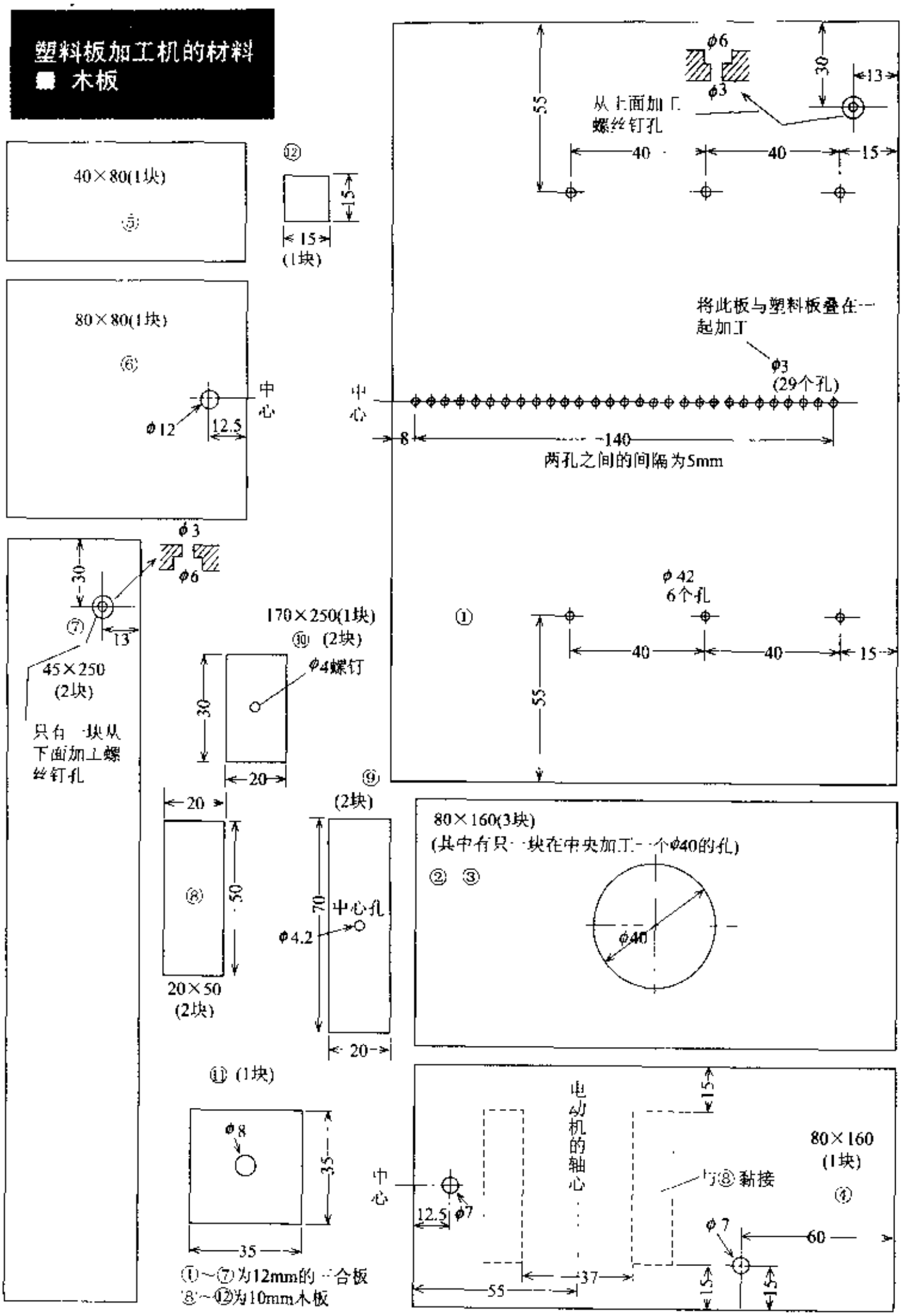
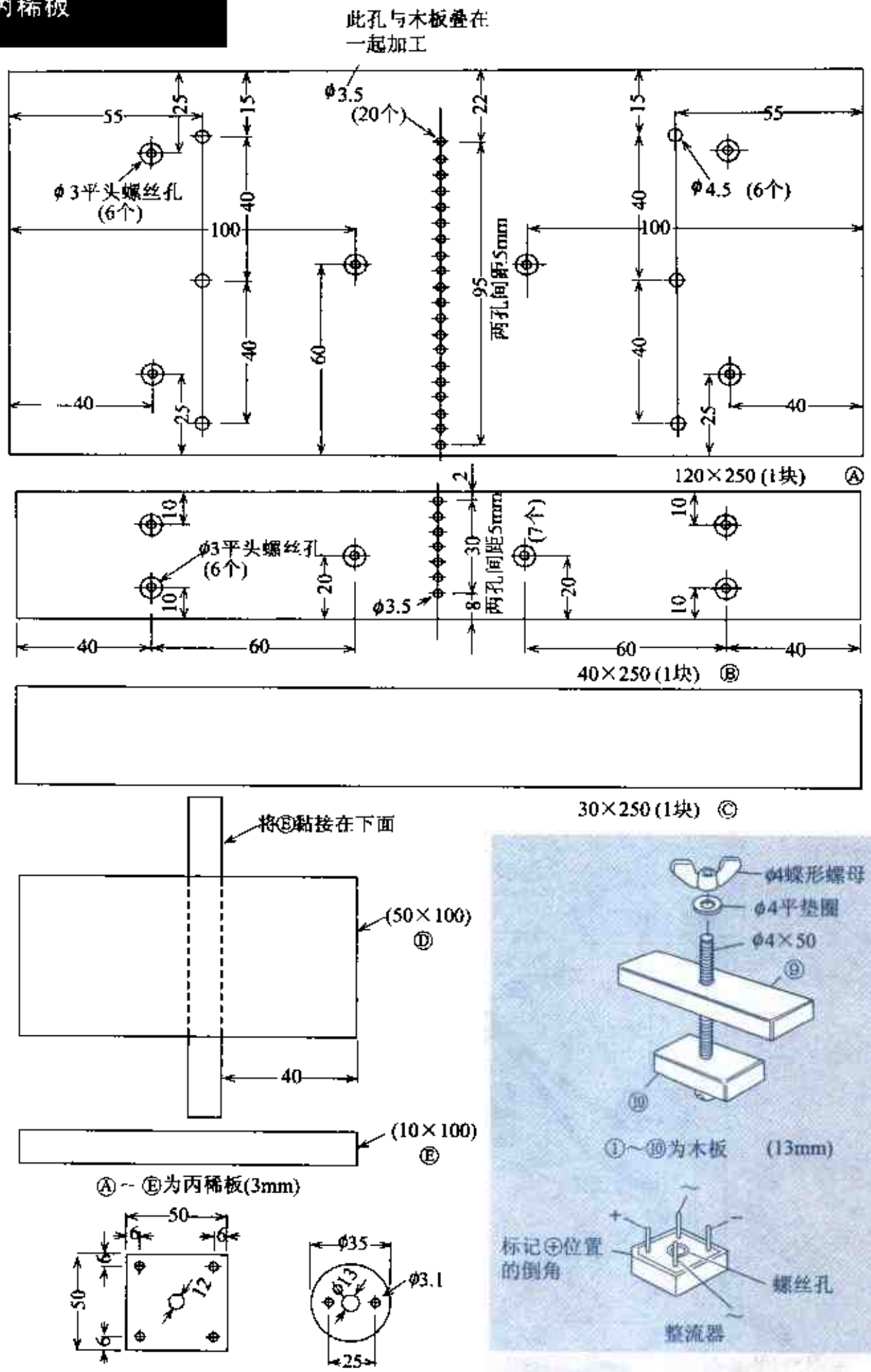

木制材料的加工尺寸和
木台的搭建
Ⓒ
Ⓓ
Ⓔ
Ⓐ
Ⓑ
①
⑤
螺丝钉孔
③
⑨
②
在此嵌入弹簧
④
⑩
5mm
5mm
⑦
5mm
5mm
30mm
⑥
⑪
平垫圈
④
此板内嵌有螺
母将其与⑥上
的螺孔对准，用
螺栓连接
尺寸调整用
带帽螺栓，长
约50～60mm
⑧
①～⑩为木板　(T=13)
Ⓐ～Ⓔ 为丙稀板　(T=3)
各板尺寸见下页

图 18

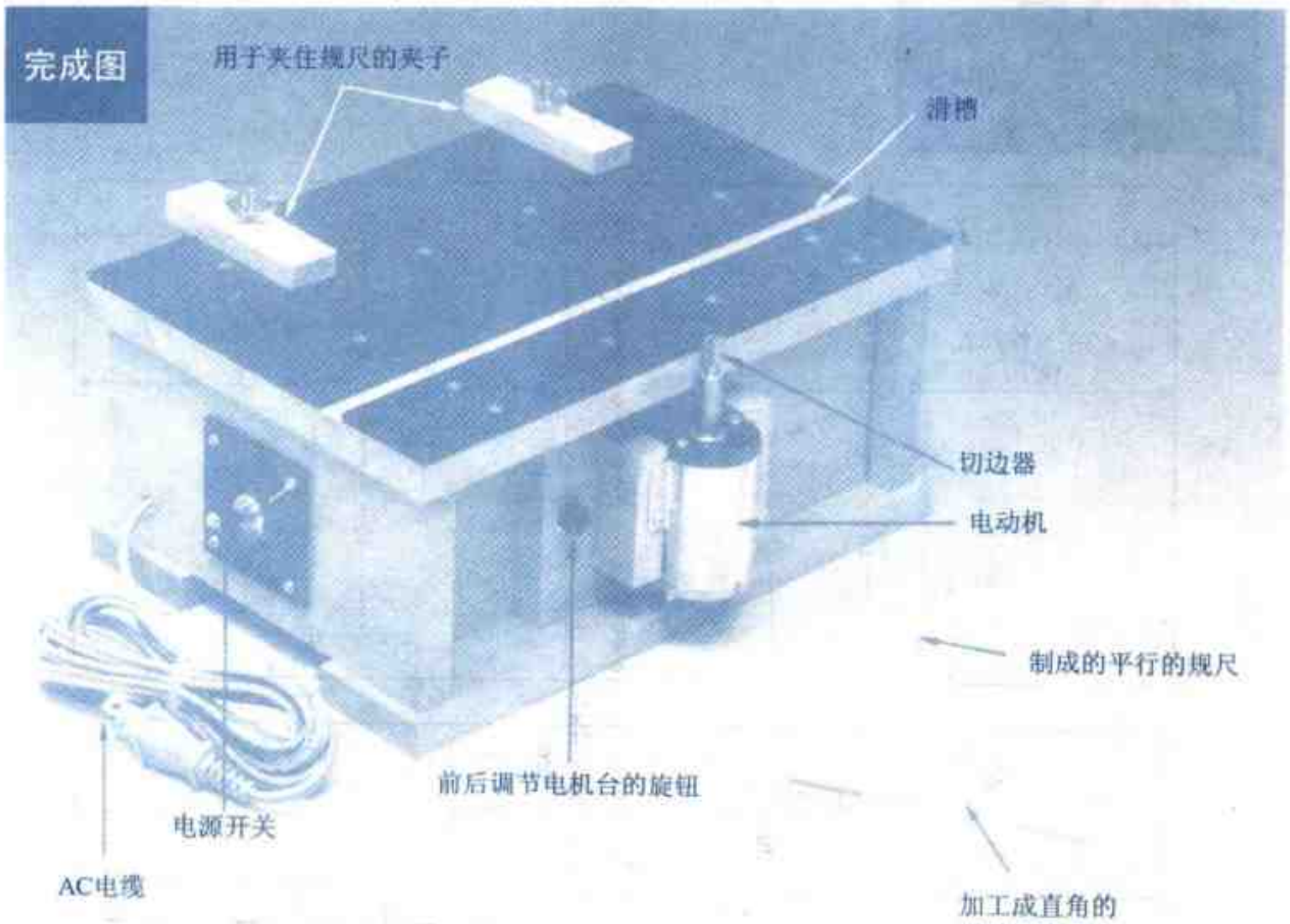
塑料板加工机的材料
■ 木板



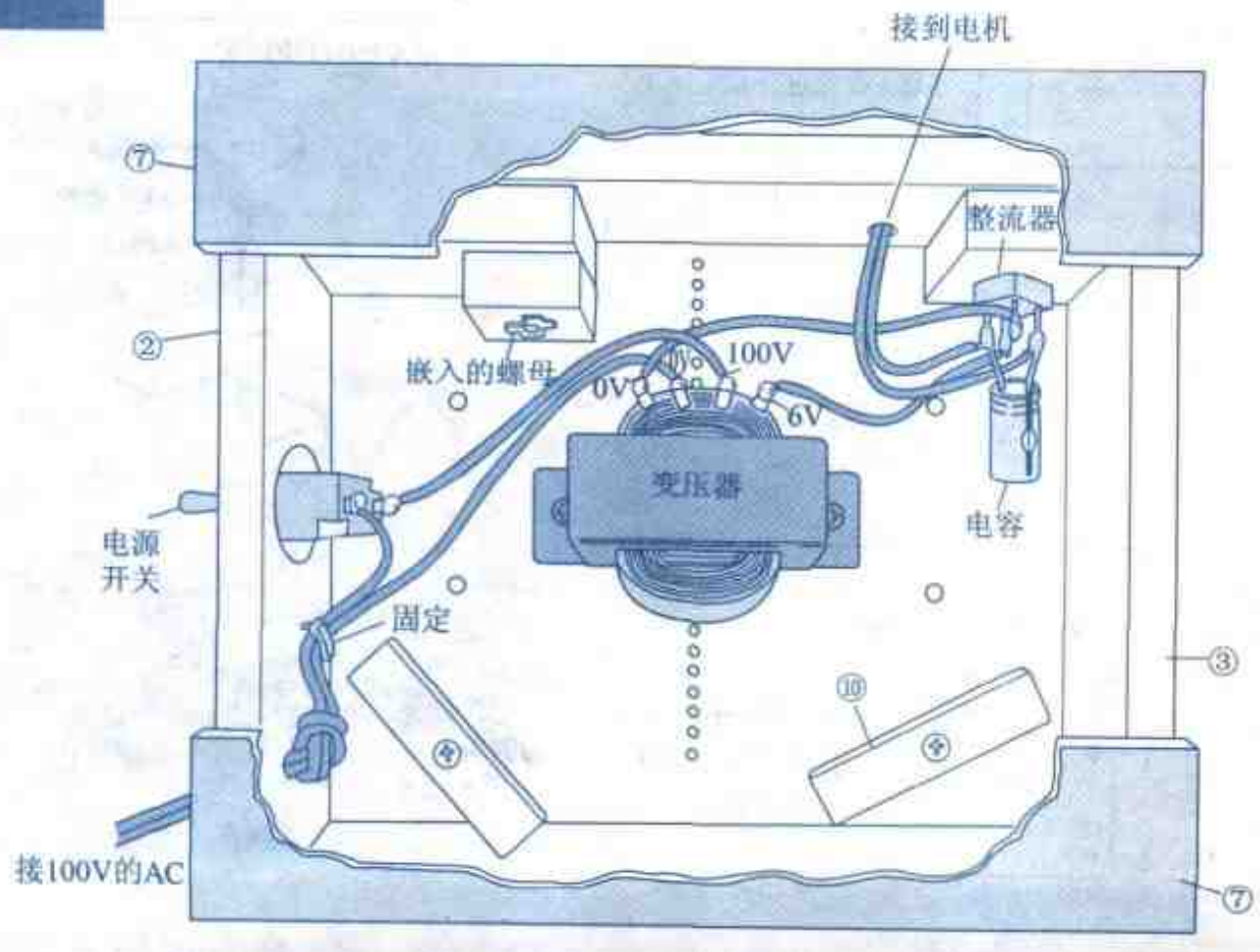
塑料板加工机的材料
■丙稀板



完成图


用于夹住规尺的夹子
滑槽
切边器
电动机
制成的平行的规尺
前后调节电机台的旋钮
电源开关
AC电缆
加工成直角的
滑动用直尺

实体图


接到电机
⑦
整流器
②
嵌入的螺母
0V
100V
6V
变压器
电容
电源
开关
固定
③
⑩
接100V的AC
⑦

3 印制电路板的制作

采用印制电路板可以使引线简单且安全，不过，制作一块线路板所需时间之长可能出乎您的预料。因此，有时也可以考虑使用万能线路板（一面上布满间距为2.5mm或者4mm小孔的线路板）。这里，我们来尝试一下如何花些功夫自己制作线路板。线路板是通过化学方法（腐蚀）将铜箔融合成电路的配线。腐蚀利用了当铜被浸在氯化铁（$FeCl_3 \cdot 6H_2O$）溶液中时铜将会被侵蚀的性质，因此，需要将铜面上应被侵蚀的部分和保留的部分用作图法区分开　当然，方法多种多样，若只制作一块线路板，可以用油性的钝笔在铜面上画出模型，也可以用带胶的玻璃纸带等胶带先黏出形状，再涂上蜡等方法。如果需要多做几块，可以采用照相的方法，也就是此处所介绍的方法。

原图的制作

利用照相方法来制作时，要在普通的照片底片上手工绘图。可以采用复写纸或聚酯薄膜将原图用黑色墨水描出（类似照底图临摹），如图 1 所示。实际上，如果能够翻过来绘图更好，原因留在以后说明。当然，利用图 1 所示的办法也完全能够将原图"做"出来。

此外，使用抄写用的模板和嵌板等可以在复写纸、聚酯薄膜和醋酸盐胶片上利索漂亮地描出书中的图（作为原图）。

当然，也可以将书拿到一些复印社，将书中的图复印下来作为原图。

感光用线路板

市售的感光线路板是在线路板的铜箔面上涂有感光材料的正感光线路板。为什么叫做正感光呢？就是指这种线路板可以同原图一样感光，而一般的照片是反感光。这种感光线路板装在银纸袋中，感光能力较弱，因此，可以在一般的房间而不一定是暗室内进行感光处理。事先要准备 2 块比较厚的玻璃板，如图 2 所示那样将线路板和原图夹在中间。再回到前面说的话，如图 3(a)所示，

当已描好的图在纸面上方时，图与感光材料只距离纸的厚度，而像图(b)那样时就完全紧贴上了。也许您会觉得这并没有什么问题，而实际上，这种缝隙所进入的光会使感光后的图的边界变得模糊，甚至有可能使细线完全不可见。因此说，作图时最好是翻过来。

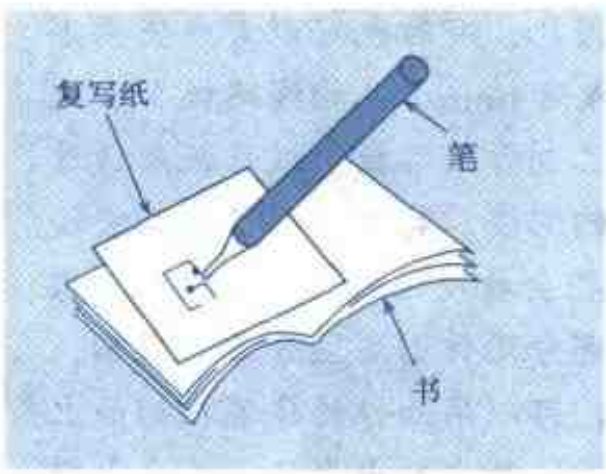


图 1

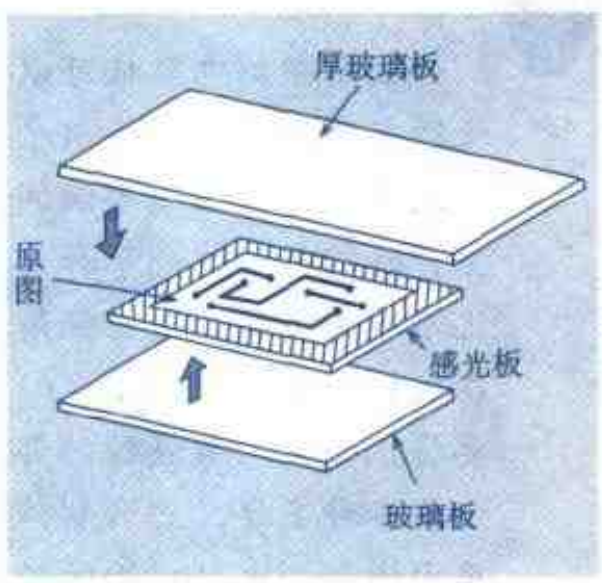


图 2

曝　光

曝光最好使用荧光灯。将图 2 中所示的夹着线路板的玻璃板移到荧光灯附近，参见图 4，曝光约 20 分钟。由于荧光灯只有一个灯管，当线路板较大时就不太适合了，此时可购买如图 5 所示的有光工作台，以达到完全曝光的目的。

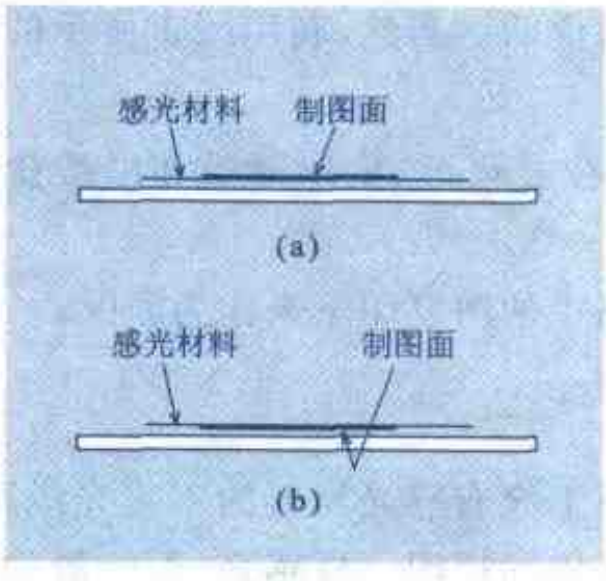


图 3

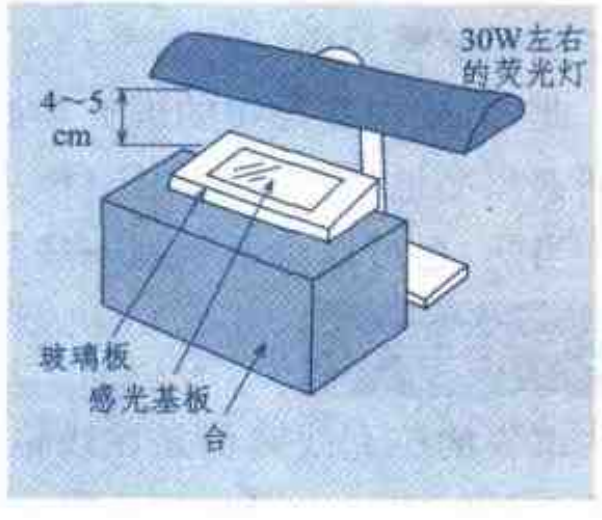


图 4

显　影

显影剂是白色的粉末。将一定量的粉末溶在适量的水中制成显影液(参见图 6)。制作时,先将已曝光后的线路板插入显影液,则原图的模型就会显示出来,再用水将线路板表面清洗干净。根据显影液的新旧和液温所需的时间长短也不一样。如果是新的显影液只需要 10 秒左右,而旧的或温度较低的显影液则要在 1 分钟以上。市场上也有如图 7 所示的专门器材出售,如果利用这样的器材,可以使线路板的显影质量更均匀。图中的保温加热器和送风机就和养热带鱼时所用的东西一样。

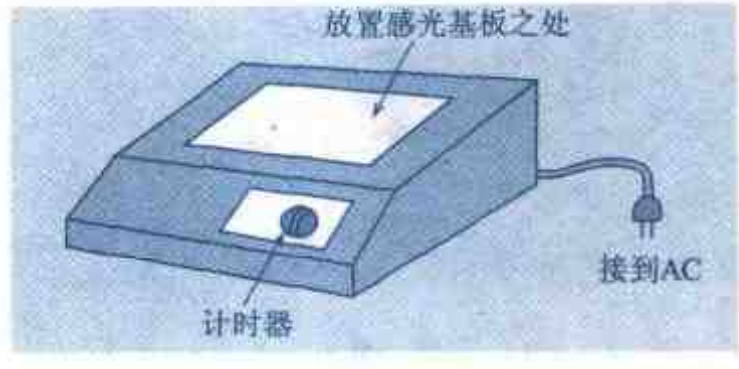


图 5

蚀　刻

市售的用于溶解铜的氯化铁有固态和液态两种,使用时必然是液体,因此,若是固态则先要将其溶入适量的水中形成溶液。将显影后的线路板放入此溶液中。用于利用蚀刻溶解后的铜会残留在线路板上,从而会延长处理时间。因此,最好如图 8 所示的那样,将模型面朝下放置。或者,如果采用类似图 7 的方法,则一定要向液体中鼓风,以使液体晃动,这是非常重要的。进行蚀刻时,液体的新旧也会对处理时间产生一定影响。(注:这种液体会玷污衣物,甚至能够侵入水泥的表面,使用和保存时应予以注意。)

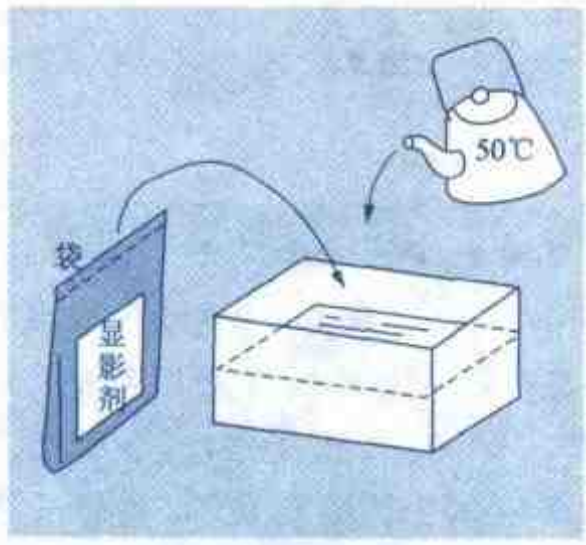


图 6

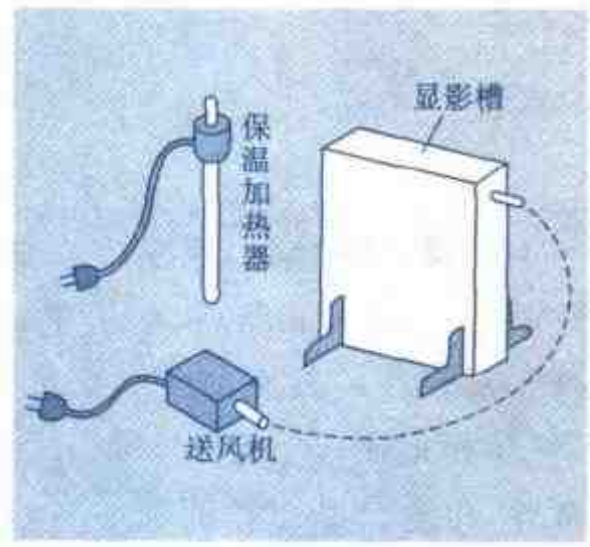


图 7

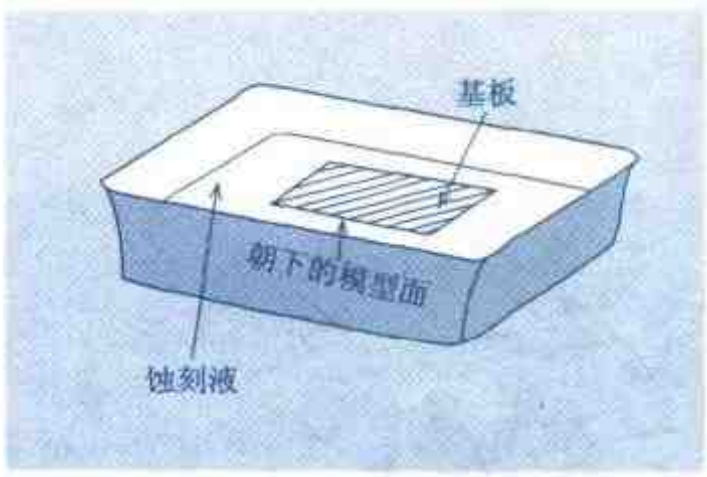


图 8

加　工

经过蚀刻的线路板还要对表面和四周进行处理并打孔。此时，尽管模型的表面还会有感光剂的颜色残留，但就这样直接加工容易看清模型，故可以在加工后再擦掉。加工工具基本上就是加工丙稀材料的工具，只是由于线路板上还要加工出很多 $\phi 1$ 的小孔，用手工钻太费劲，而且经常会使钻头折在孔内。因此，可以使用如图 9 所示的小型电钻，台架也可以买到。

在所有的孔加工完之后，可以用钢丝绒将线路板表面残留的感光剂擦除干净。

处　理

如果用钢丝绒磨过的表面不经任何处理，因为氧化会导致焊锡不易挂住。因此，应该在表面普遍涂撒易挂锡的助焊剂，并应该将表面放到无电解镀液中浸过。

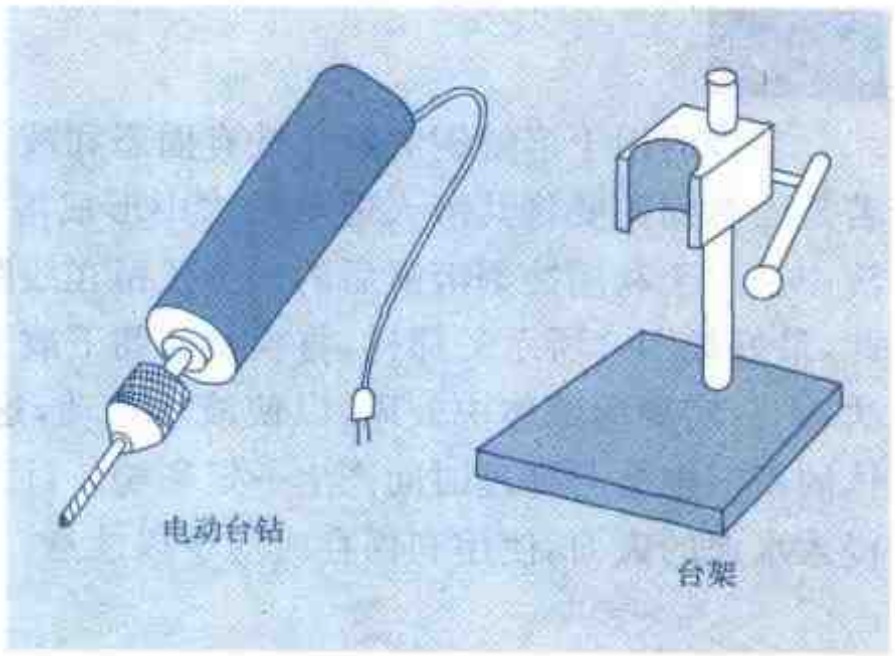


图 9

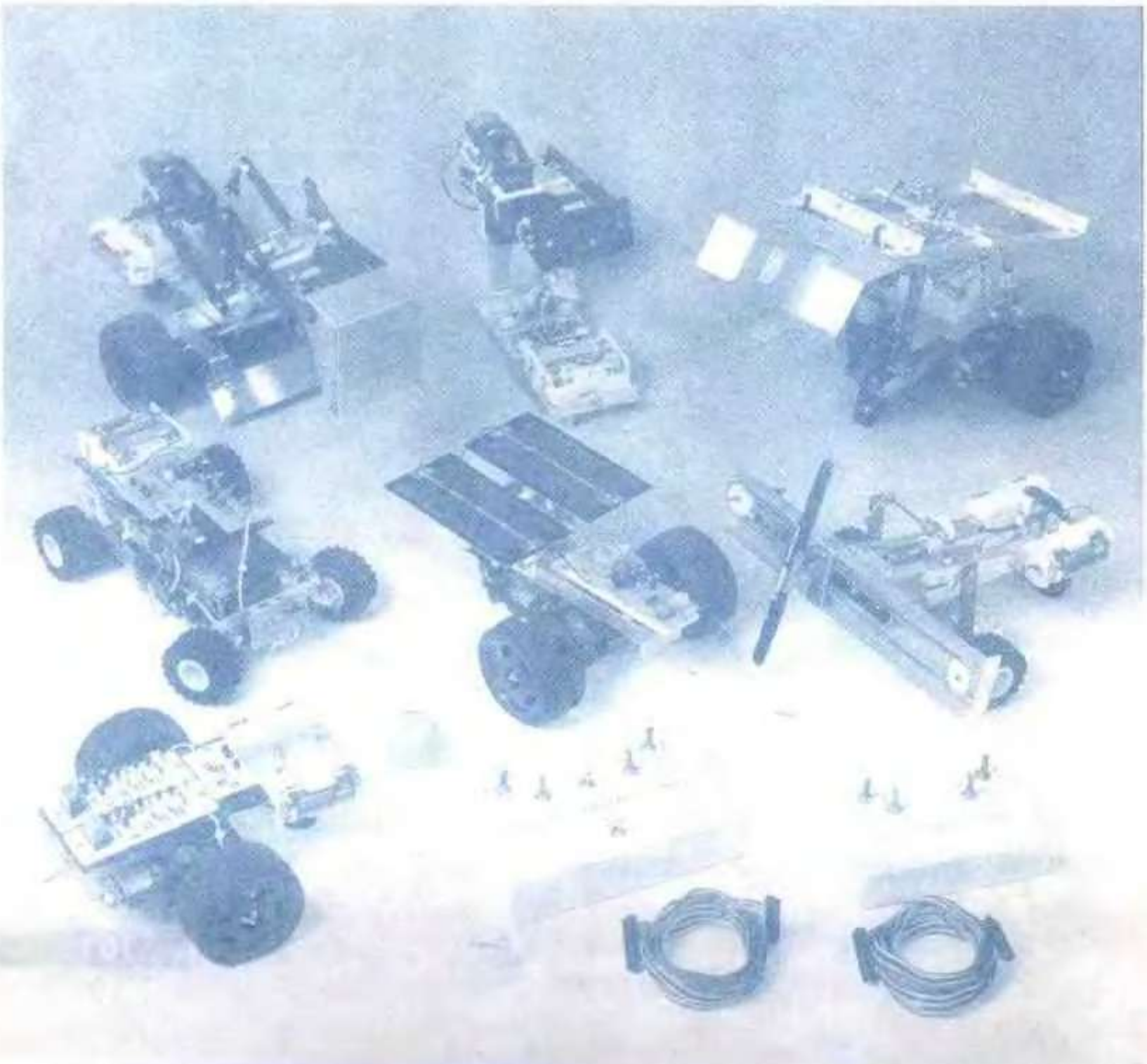
有关机电一体化，我想大家都能听说过，这是一个完全日本造的英语，是由机械学的 mecha(nics)和电子学的(elec)tronics 组合而成 mechatronics，而机器人也正属于这一领域。从工业用的大型机器人到玩具上的机器人都属此类。因此，机械和电子两方面的知识自然都需要了解。那么，自己制作时，首先要搜集零部件，但这只是工作的第一步，因为没有机电一体化的专门商店，在产生制作机器人的想法时，可能没有哪个商店将您要的所有东西全都摆在您眼前，不得不东奔西找。就是说，机械部件要到那些机械产品的商

店，电子零件要到电子商店，而塑料及木板等也要到出售它们的商店去寻找。首先可以从附近的这些商店找起。我曾经去过模型商店、工具店、五金商店和电气用品商店等，买回来不少看起来挺有趣的东西。当这些东西摆到身边时，自然容易在脑海中产生所要制作目标的构想。几乎没有先完全想好了目标再出去购买零部件的时候，基本上都是用早先已买回来的东西来制作的。当然，这样有时也会遇到零部件不够、不太称心或是大小不太合适，以及电子器件的规格不匹配以至于无法配套等情况。此时，不要觉得这是浪费，当您在大量寻访各种店铺的同时，考虑一下所见零件的改进与新的应用，也许能够使您制作出更有意思的东西，这无疑也会提高您的兴趣。目前我们制作的都是采用小型计算机的机器人，也许就会遇到这种情况。

第二部分 微型机器人手工制作入门

第 2 章

机器人手工制作手册



制作机器人的乐趣

在学校中，机械和电子是不同的学科，即使在社会上，这也是两个彼此不同的领域。

但是，在制作机器人时，必须了解这两方面的知识和技术。从机器人的发展角度来看，自己的专业固然重要，但对与此相关的技术的学习和掌握，更是充分发挥自己的专长的基础。

我走入社会时，还是磁带录音机盛行的时代，那些都是机械机构和电子电路的合成体，而技术人员也是按领域分开的；可能现在也是如此。但试想一下，如果学完这些基础再分开又会怎么样呢？

这里所介绍的机器人都取材于杂志和教材中，有些稍微做了改动，并采用更容易理解的晶体管来构成电子电路。这些机器人中可以接入适当的传感器电路和遥控器，这时有可能需要更换部分机构或电路，请认真思考。

这些话听起来有些生硬，下面，我想就那些需要特别注意的问题和确保能够制作出机器人的所谓"窍门"再说几句。

如果您已经参照着图示等资料完成了机器人的制作，接通了电源开关，但没有反应，那么您可以打电话来商讨，但尽量不要说，"我完全照着图上做的啊！"，这种说法对分析问题没有提供任何帮助信息。如果您确实完成了组装，不妨先看看执行机构部分是否工作，然后将电动机暂时安上电池，查看一下各部分的工作情况，若无问题，还可再用电流表测试电路中的电流等。

其次，在将电子电路组装到机械部分之前，在基板上先暂时给电动机配线，确认一下电路本身的工作状态以及传感器的工作状态。此时，可先摘下电动机轴，观察一下电路对于负载的变化。如此这般对每部分进行分别测试后，会使以后的纠错工作变得容易。

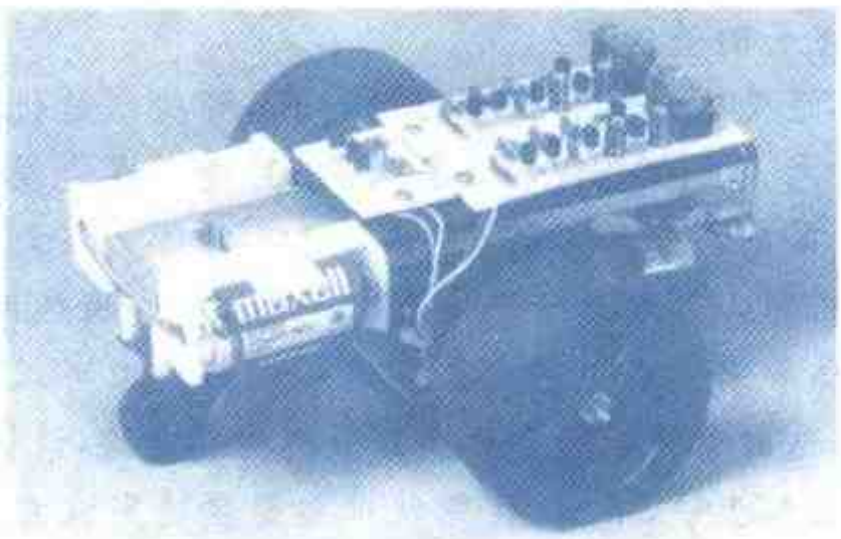
确认上述事项后问题就会变得简单些，不过，还有个别问题需要留意。其一是避免基板和电动机以及开关的配线错误；其次，如果设备的工作情况与预想的有偏差，也可能是由于电动机噪声所带来的麻烦。无论怎样，直流(DC)电动机总会在转子部分产生火花，这也会对电路造成影响。

所能采取的对策就是先组装电路，当遇到这些故障时，再考虑在电动机以及会受到影响的传感器上加上电容。

请大家在制作的过程中能注意这些问题。

增永工作室　增永清一

1 可以拐直角的线条跟踪器



在白纸上用笔适当画一些线条，机器人可沿此线边搜索边走，是一个很“忠实”的线条跟踪器。但有很多尝试此实验的人都没有成功，原因是没有充分注意线条跟踪器实验中的一些关键问题，现说明如下：

① 模型的速度不能太快(控制齿轮运转)；

② 动轮轴应靠近传感器的位置(50mm 以内为宜)；

③ 记号线条不能太窄(8～10mm 左右为宜)。

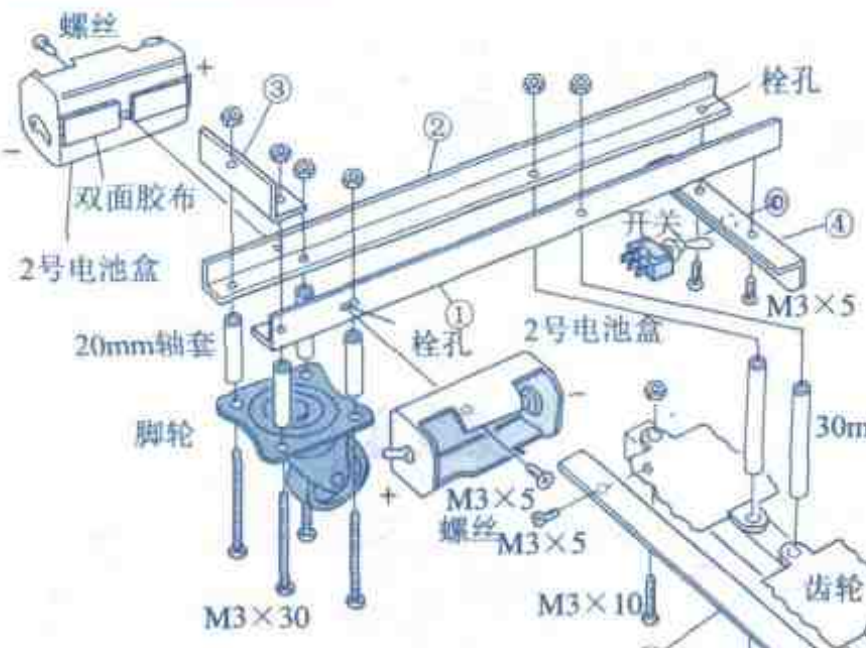
正如照片中所看到的那样，电子电路是有些复杂，原因是包括提供动力的电源部分。机器人速度慢的原因是每个电动机需要加 1.5V 电压，电路中利用两个 1.5V 的电池串连来提供 3V 的电压，经过 IC 之后电压自然会有一些不足。此外，光线采用紫外线，电路则采用能够实现光调谐的电路。此电路也可以应用到其他模型中。

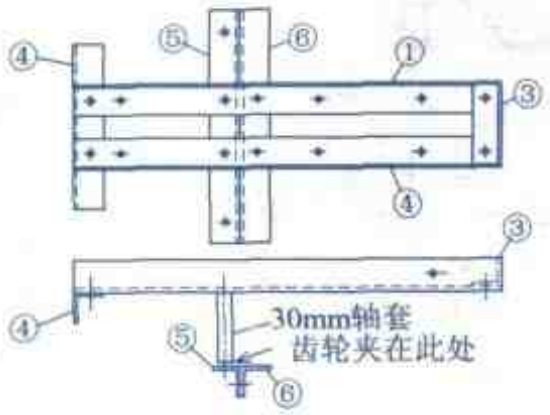
模型部分的轮胎直径 ϕ 为 75mm，车宽为 175mm，全长为 190mm，整个结构用 13mm 的直角铝材为骨架制作而成，以求外型美观。为了简单，齿轮采用安装在电动机上的齿轮，使用减速比较大的 HE 齿轮箱。这种齿轮箱的减速比可以有两种设置方法(336∶1 和 216∶1)，此处设置为 216∶1。

跟踪器是这样工作的：当传感器感知到黑线时，启动继电器，使同一侧的电动机反转，这可以使车体能转小弯，不会产生因线条的感知所产生的“惰性”，不用担心其行走过量。

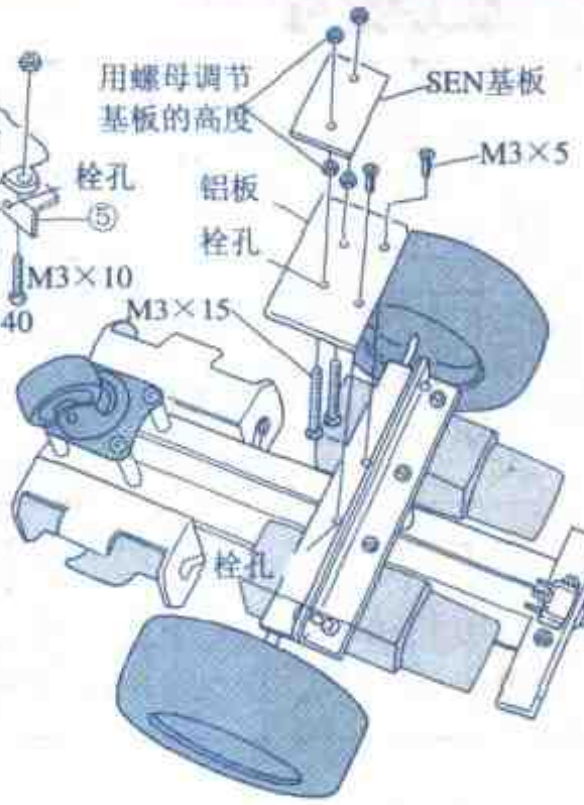
如果实验场所的光线较强，需要遮挡传感器周围的光线。

直角铝材结构图

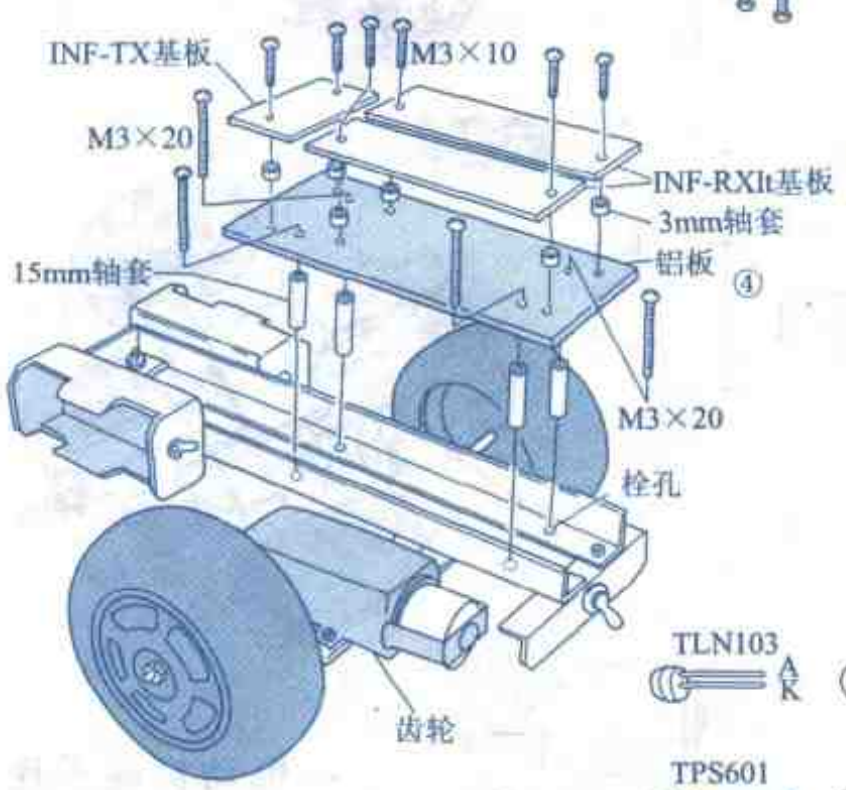


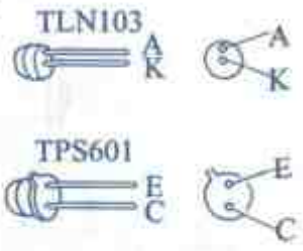


传感器电路板的安装

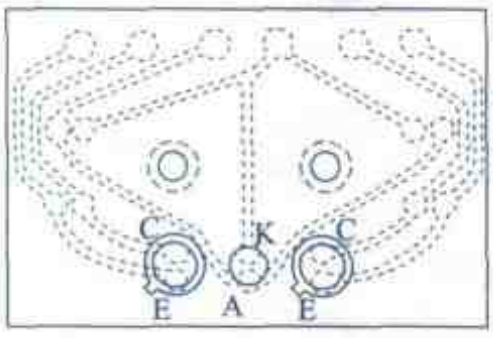


铝板和采光板的安装



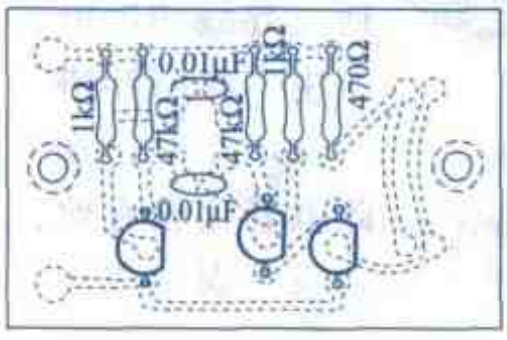


传感器电路板



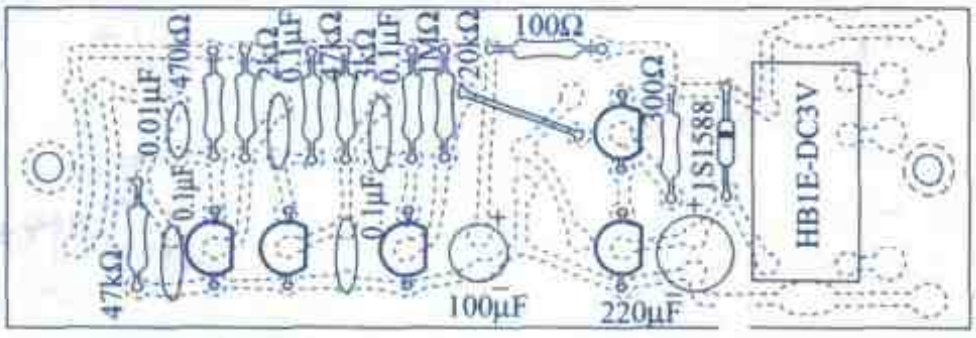
TPS601 TLN103 TPS601

采光电路板



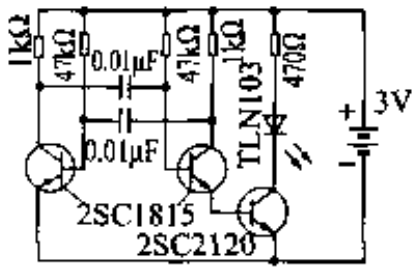
2SC1815 2SC1815 2SC2120

采光电路板(需要相同的2块)

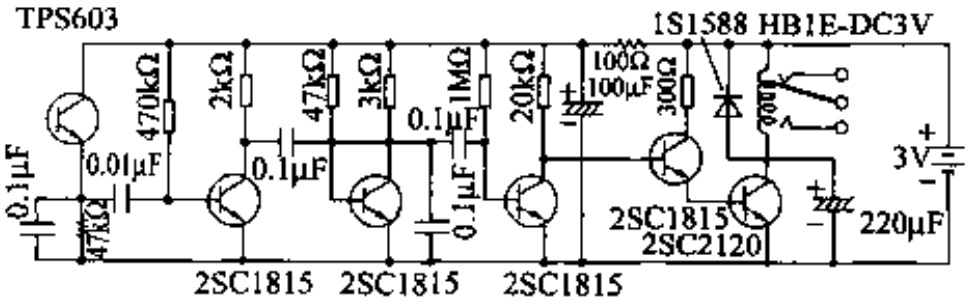


2SC1815× 3　　2SC2120

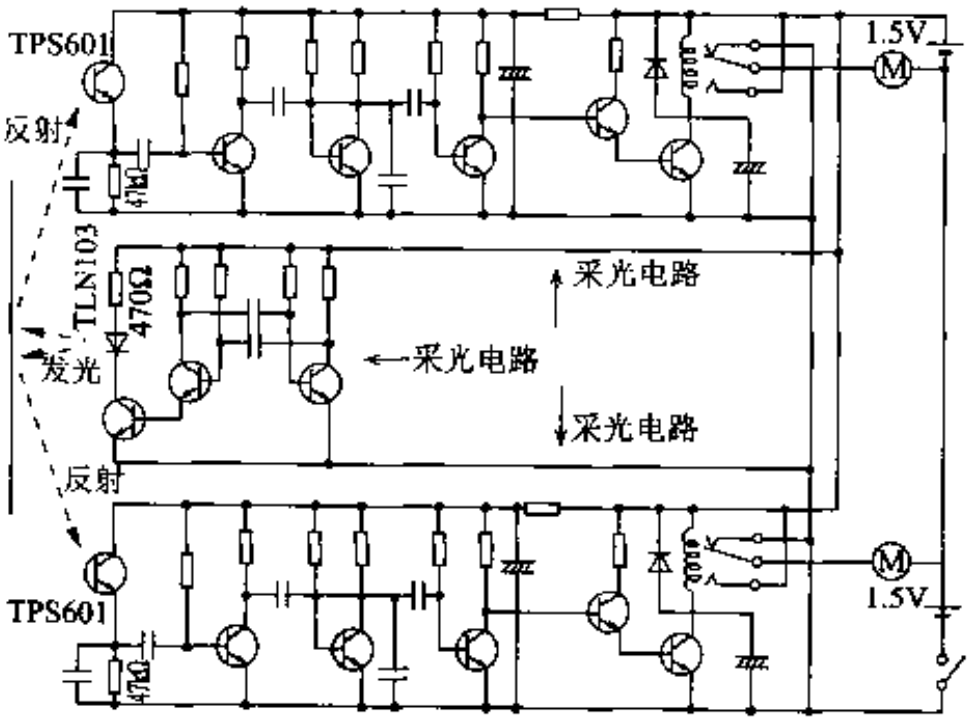
发光电路



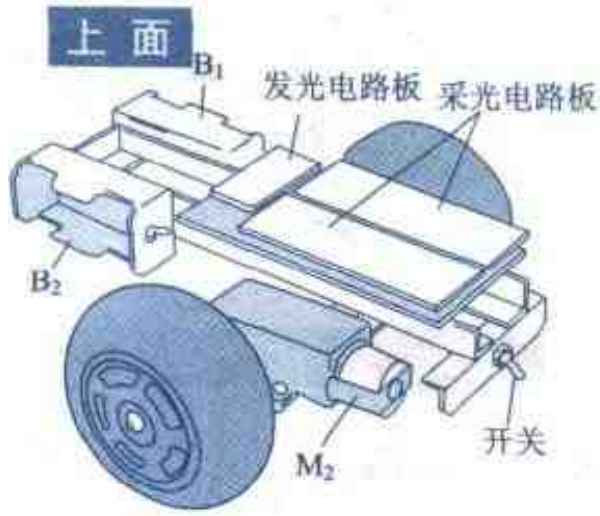
采光电路



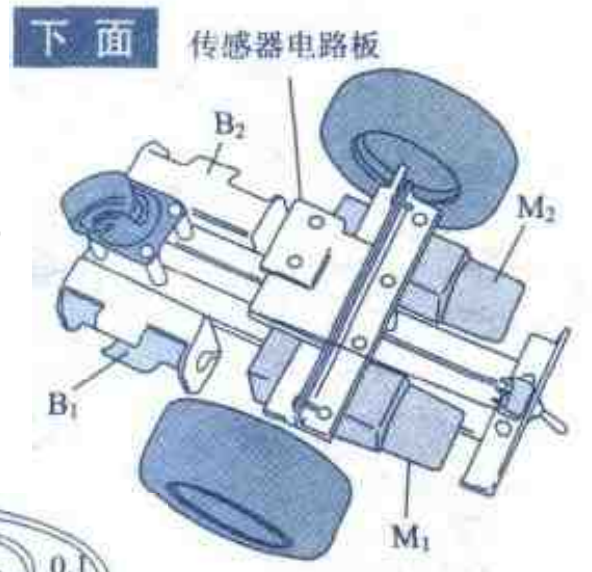
线跟踪器完整电路图



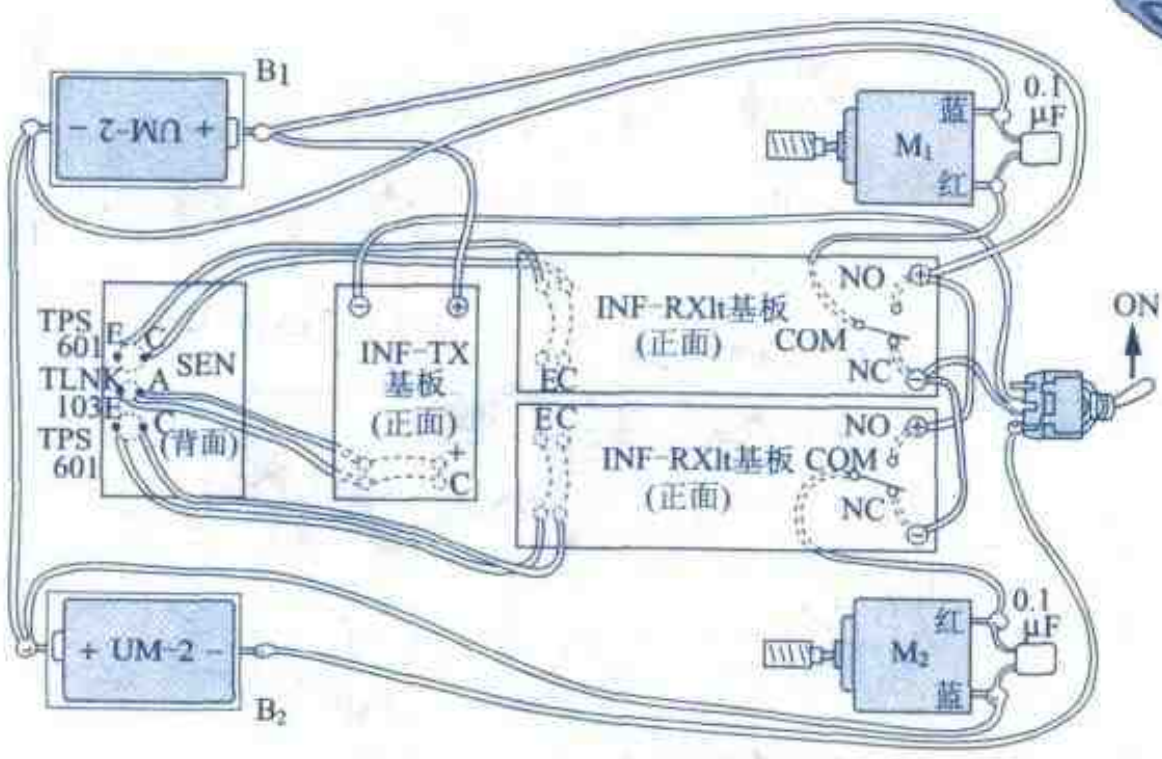
上面



下面



配 线 (模型配线俯视图)



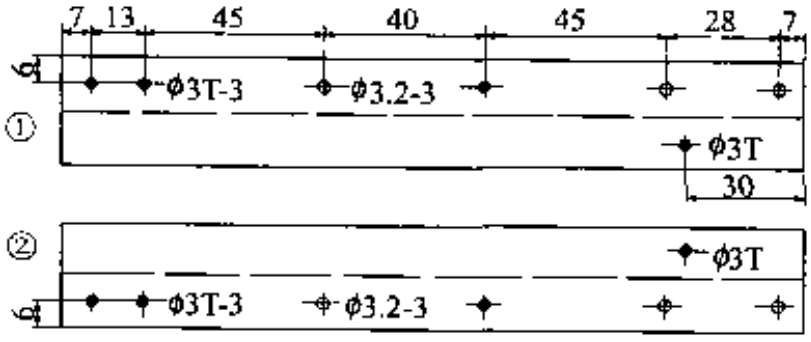
电动机端子连接的0.1μF为消噪器。若电刷的火花通过导线使继电器产生“咔嗒咔嗒”的误动作时，加上此电容比较有效，若没有误动作也可以不接。

线条跟踪器部件和结构材料图

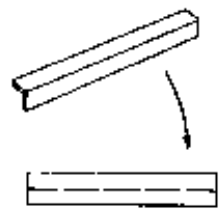
部件表

No	部　件	规　格	数量	No	部　件	规　格	数量
1	齿轮	HE 齿轮箱(含电动机 田宫)	2	16	电阻	100Ω 300Ω 1kΩ 3kΩ 2kΩ 20kΩ 470kΩ 1MΩ	各 2
2	车胎	TGX 超光滑 M 卡式车胎	1 组				
3	轮子	1.8AMG 梅塞德斯 C 级 DTM	1 组			17kΩ	4
				17	电容器	0.01μF	1
4	电池	UM 2　锰电池	2			0.1μF	10
5	电池盒	UM-2　1 节用	2	18	电解电容器	100μF　16V	2
6	小脚轮	φ25 家具用(黑)	1			220μF　16V	2
7	直角铝材	13L	参照图	19	塑料轴套	3mm	6
8	塑料板	3mm 亮灰色	参照图			15mm 20mm	各 4
9	晶体管	2SC1815(东芝)	10			30mm	2
		2SC2120(东芝)	3	20	螺丝	M3×5	6
10	摄像机转向架	TPS603(东芝)	2			M3×10	8
11	红外 LED	TLN103(东芝)	1			M3×15	6
12	二极管	IS1588(东芝)	2			M3×20	4
13	继电器	HBIE-DC3V(松下)	2			M3×25　M3×5	2
14	开关	MS-500A(MIYAMA)	1	21	螺母	M3	6
15	基板	三种	参照图	22	其他	导线、束线带	少量

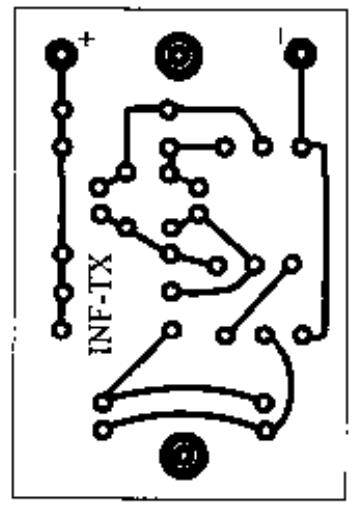
材料图



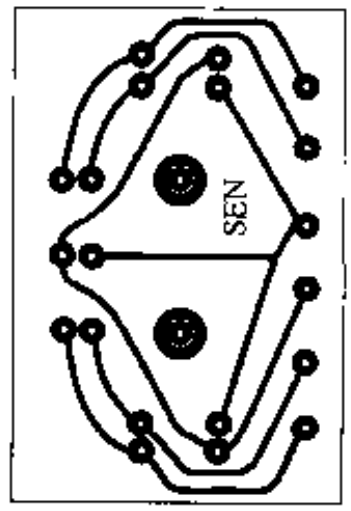
13mm直角铝材及其展开图



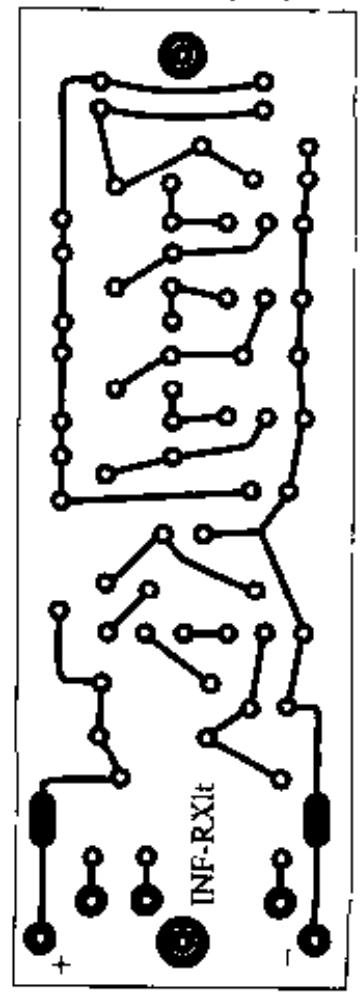
发光基板



传感器基板



采光基板(2块)



2 可以上下左右跟踪光线的跟踪机器人

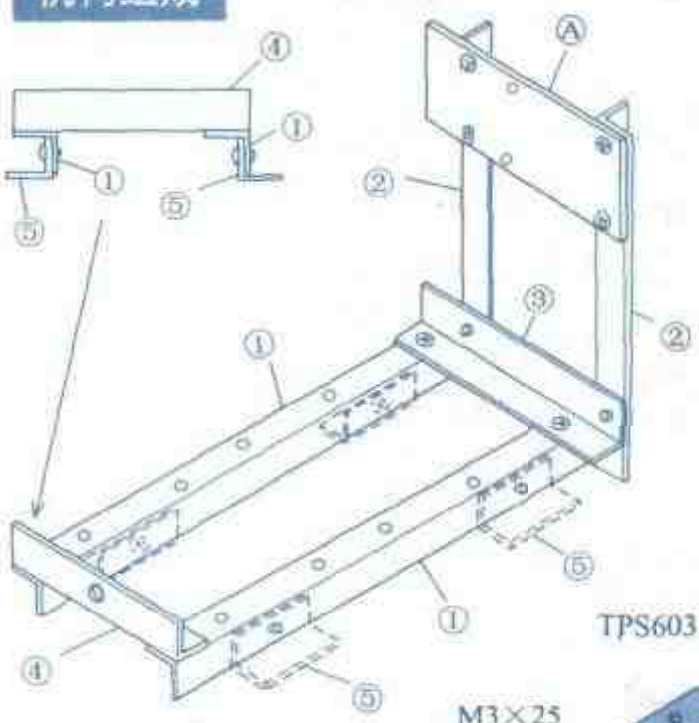


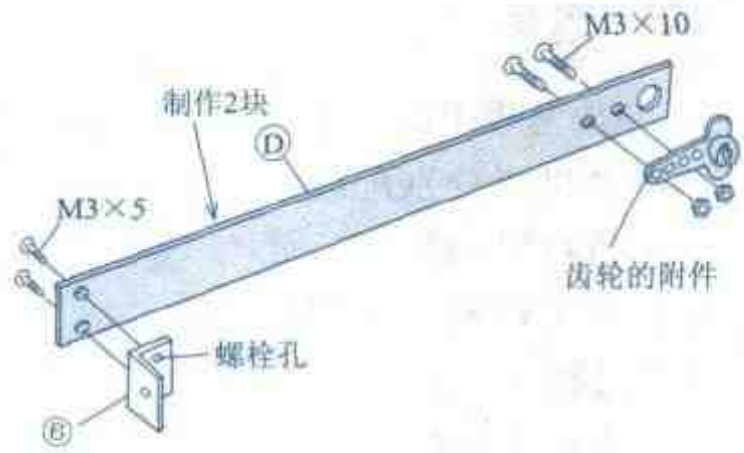
传感器在动作机构的前端对光线进行感知并驱动电动机。用一个轮轴机构连接电子电路和机械部分，传感器因感光而动作直到使自己进入阴影为止，这样就构成了一套可以上下左右自由活动的光线跟踪系统。至于斜向可由负责上下的传感器之一和负责左右的传感器之一共同感光，并向斜向移动，直到光线变暗为止。在臂的前端设置有 4 个传感器，(参见照片)，因此，要事先固定一个小长方形板。当有来自臂的正面的光线时，4 个传感器全部落在该板之下的阴影里。随着光源的移动，就会使其中的 1 个或 2 个传感器感光，使机构移动直到该传感器落入光的阴影里为止。

电子电路是电动机的正、反转电路，在一个电路中安排了两处输入，其一是使电动机在迎光时向正方向转动，另一个则是使电动机在逆光时向反方向转动。若两方向同时迎向光线，则因为电动机中同时有正反向电流而停止转动。当然，电路中仍有电流消耗，而因为这种性质的存在，使其在光线较弱时也有一定损失。工作时，为了提供较强的光源，可以用一个 40～60W 的灯泡在传感器之前 1～2m 移动，使跟踪器能够跟踪其轨迹。当然也可以考虑太阳光，并跟踪太阳移动的轨迹，但这需要在晴天进行。此外，跟踪太阳移动轨迹的时间较长，必须考虑电源消耗过大的情况。此时，需要安装稳压电源，或者考虑使用太阳能电池。

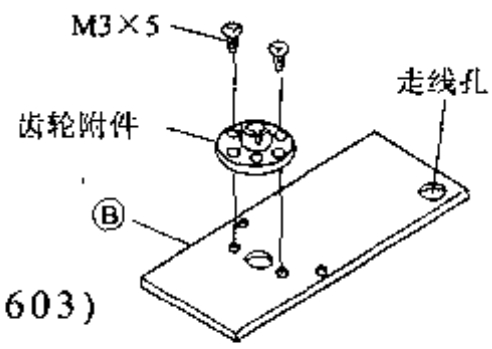
在基板上还安装了 4 个半可调电阻，用于调整传感器的输入敏感度。可以按照实际的工作情况来分别调节。

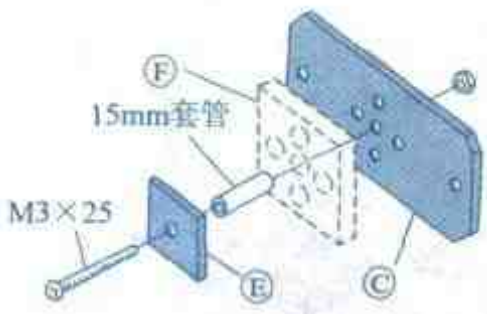
机构组成







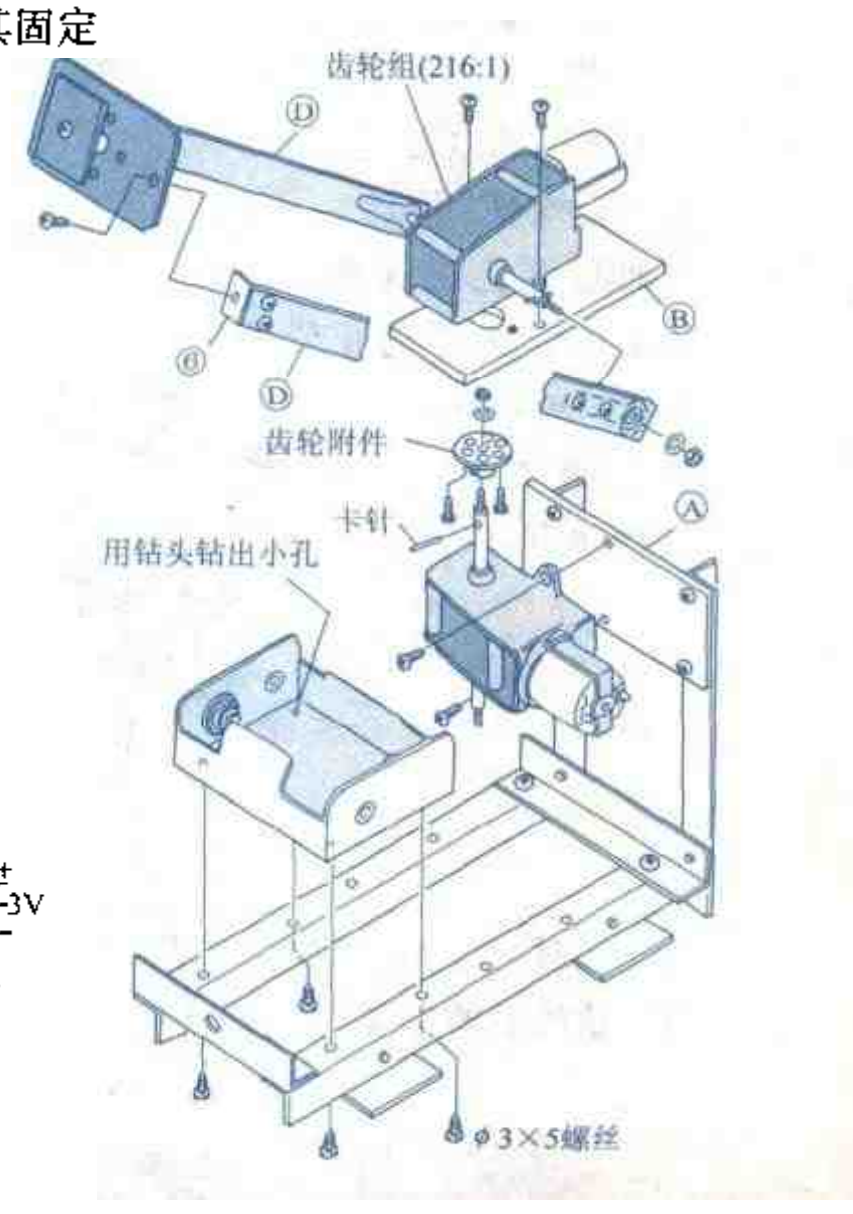




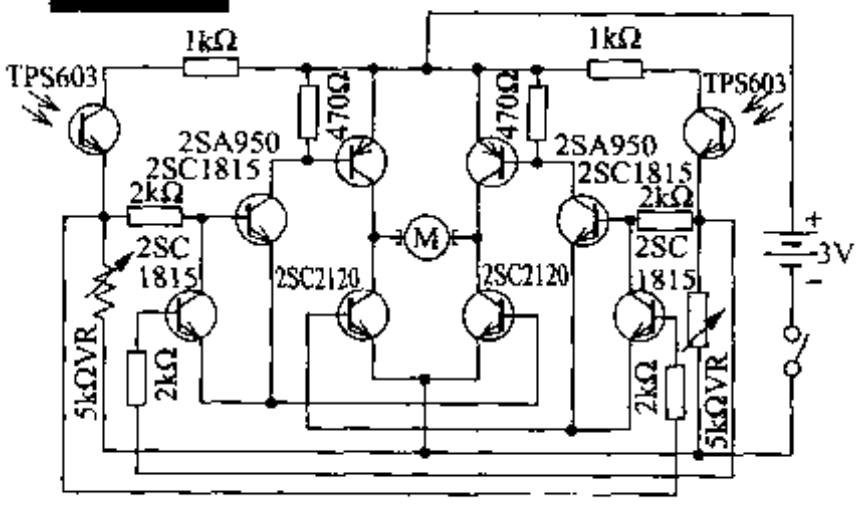
将光敏传感器(TPS603)按图所示嵌入 Ⓒ 板，从里面涂快干胶使其固定

传感器部分使用黑色的塑料板 Ⓒ 和 Ⓔ，以及15mm的白色轴套。将 Ⓒ 和 Ⓔ 先用砂纸打磨，再用黑色的纸圈成小桶塞入轴套以防止反射光线。木板 Ⓕ 要涂成黑色，在跟踪太阳轨迹时使用。

此为1块基板的电路图，需要与电池共用2块这样的电路。



电路图



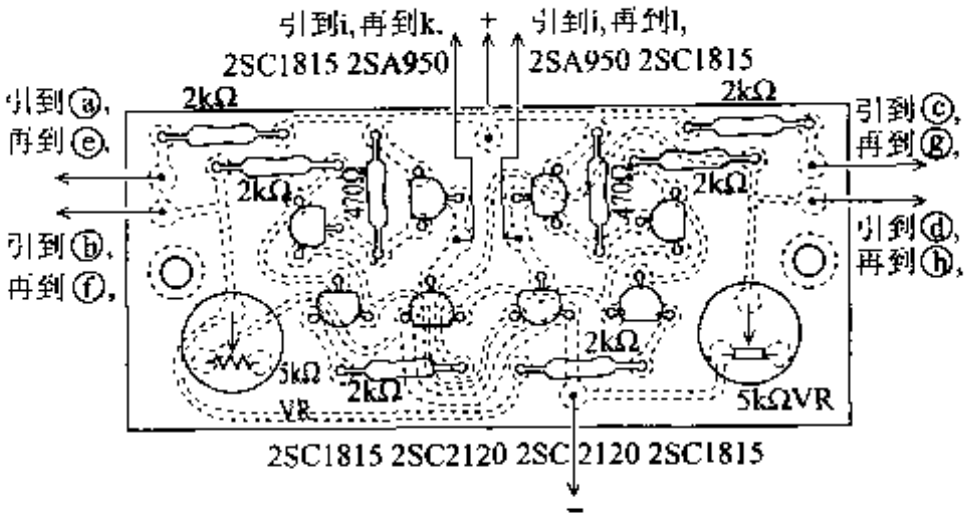
电路配线

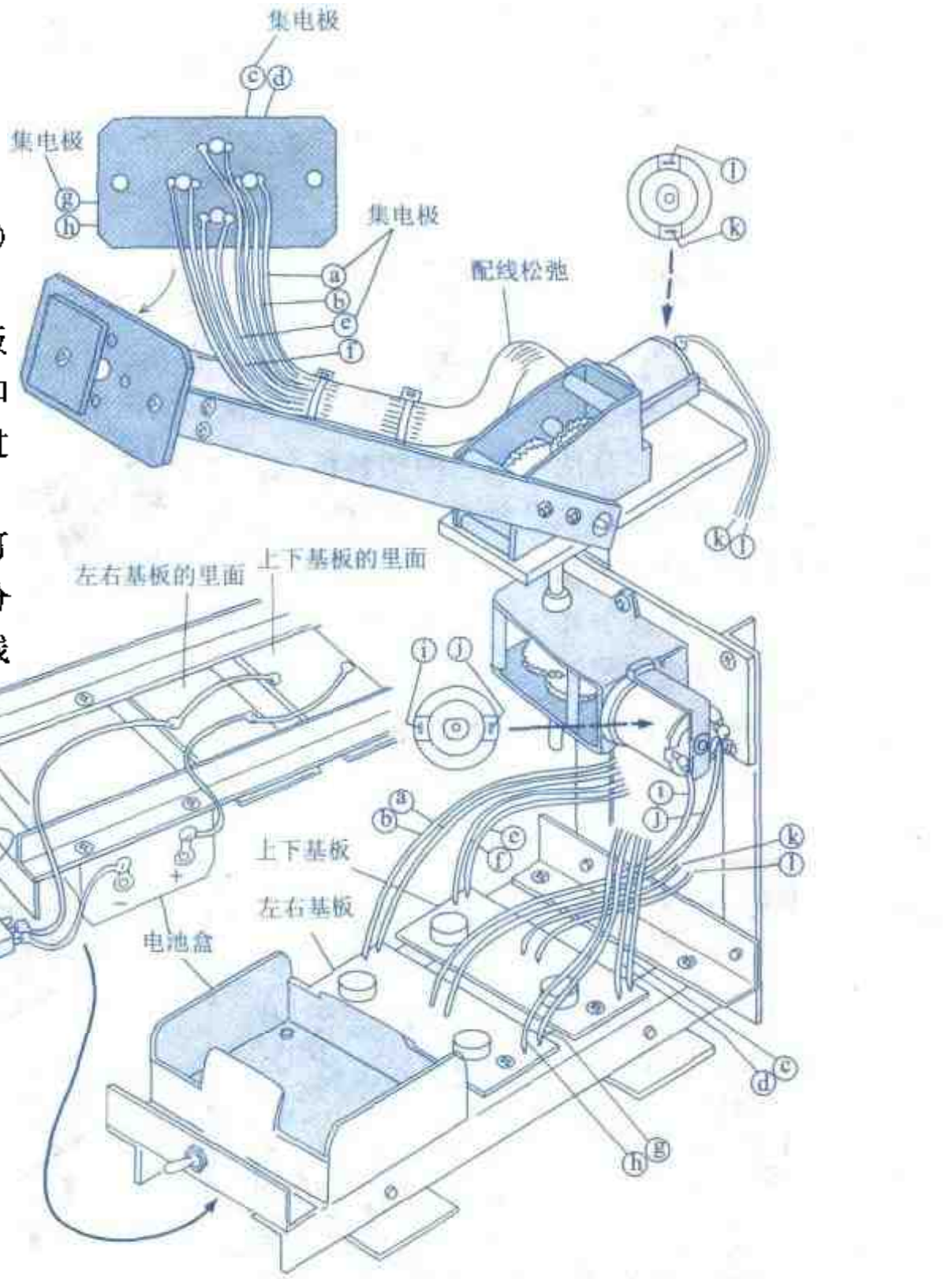
2块基板上的传感器和电动机要分别配线，如果执行时动作相反就是因为电动机端子的配线连接错了。

若有光源但设备不动时，(1)若半可调电阻的阻值设置小了，先将旋钮旋到最右边。(2)也可能是光敏传感器(TPS603)的配线错误,右图中的，ⓐ、ⓒ、ⓔ、ⓖ在集电极端。

电源的配线在基板的内侧。2块基板的+和+、−和−分别相连，通过开关连接到电池上。

配线使用板线，可以通过颜色正确地区分其走向，为了防止导线松动，可以在分线的地方适当进行固定。





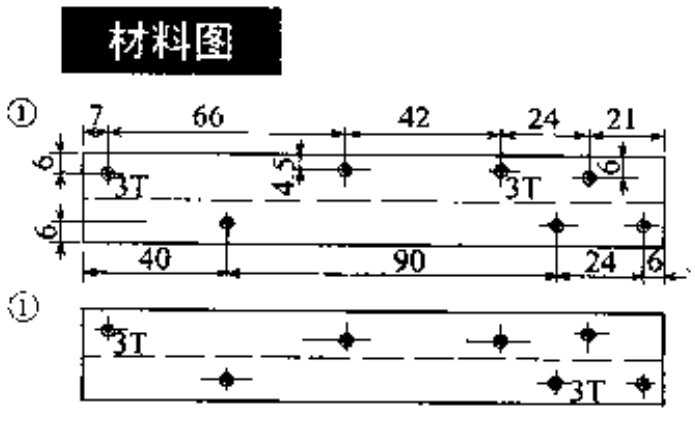
注：长时间使用时请使用经整流后的电源

跟踪机器人的零件与机构材料图

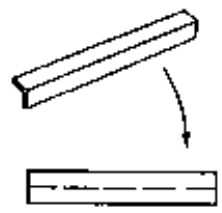
零件表

No	部　件	规　格	数量	No	部　件	规　格	数量
1	齿轮	HE 齿轮箱(含电动机 田宮)	2	10	电阻	470Ω　1kΩ	各 4
2	电池	UM-2　锰电池	2			2kΩ	8
3	电池盒	UM 2　2 节用	1	11	半可调电阻	5kΩ	4
4	直角铝材	13L	参照图	12	塑料轴套	5mm	4
5	塑料板	2mm 黑 3mm 白 3mm 浅灰色	参照图	13	螺钉	15mm	1
						M3×5	26
6	晶体管	2SC1815(东芝)	8			M3×10	8
		2SC2120(东芝)	4			M3×20	1
		2SA950(东芝)	4	14	螺母	M3	5
7	摄像机转向架	TPS603(东芝)	4	15	螺丝	φ3×5	4
8	开关	MS 24L244	1	16	配线、束线带		少量
9	基板	一种	2	17	黑色纸		参照图

材料图

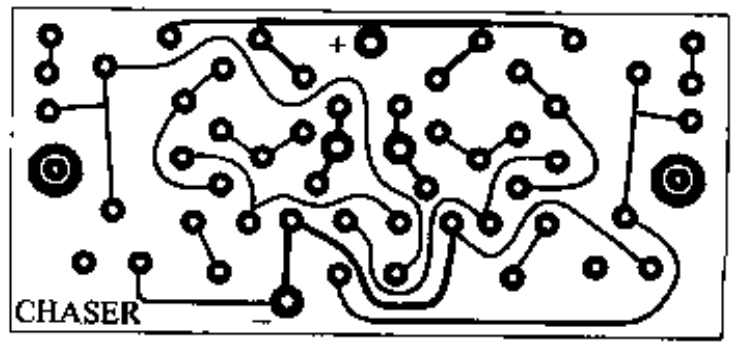


13mm直角铝材
及其展开图

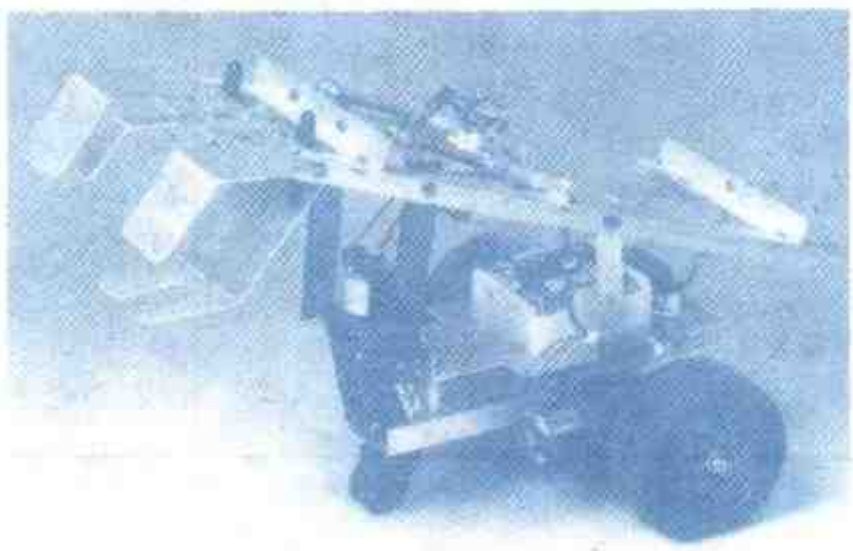


①～⑥　直角铝材
Ⓐ～Ⓔ　塑料板
Ⓕ　木板

使用2块基板



3 能运载软硬物品的工作机器人



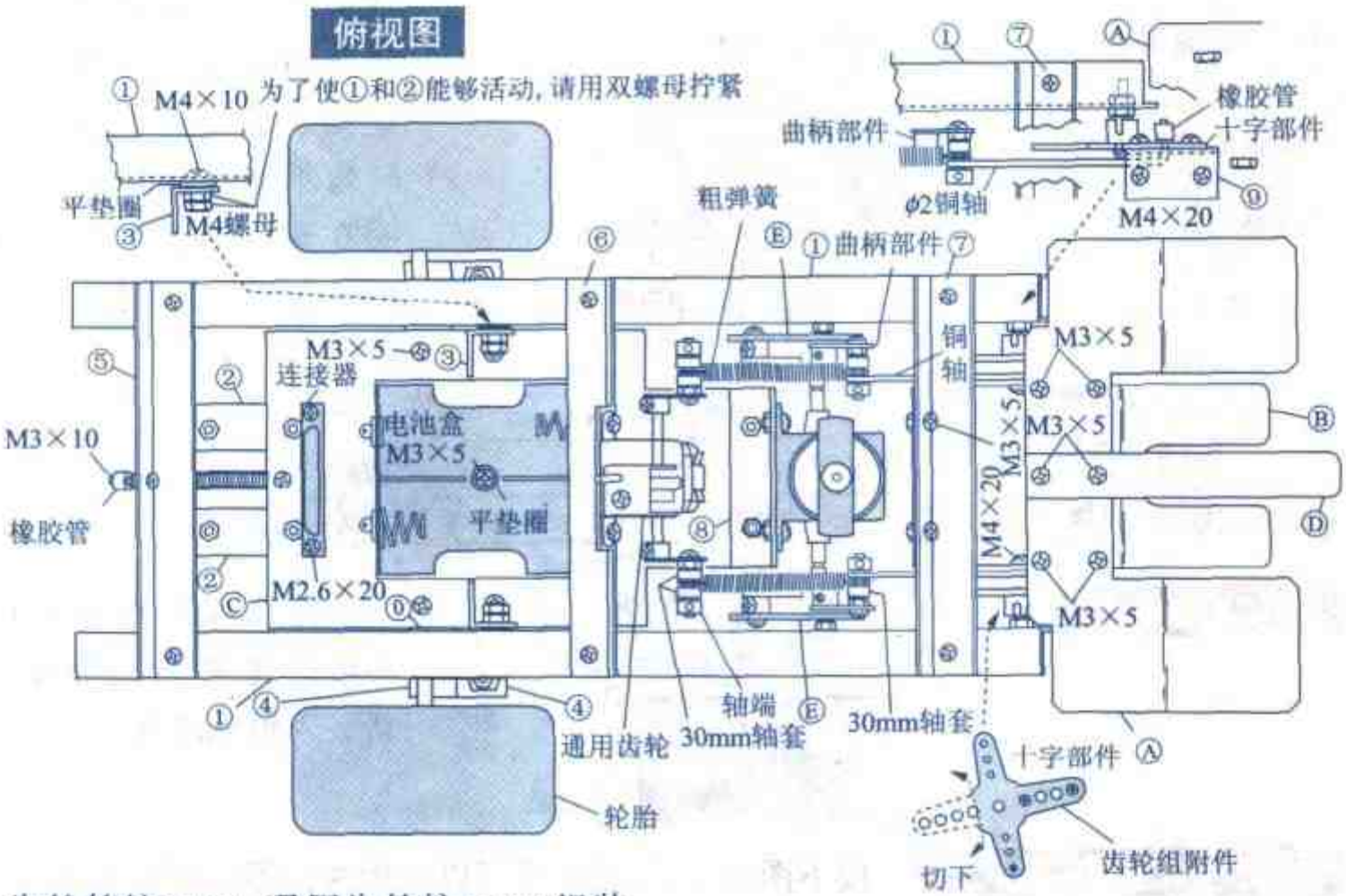
齿轮是制作新车的必需部件。对新车的齿轮各部分加以改造，可以提高遥控机器人的整体性能。齿轮前部的夹取器部分是最基本的运动部件，在结构上要保证使其可将坚硬的金属球或易碎的鸡蛋抓住后都可以运送，其原理是在连接曲柄与连杆之间的连接轴上加入缠紧的拉伸弹簧。当弹簧受到拉伸后会伸长，但由于缠绕紧密，即使在受到挤压时不会收缩，当受到纵向挤压时也不会产生偏离。因此，若在连接轴上加上拉伸弹簧，则可以在夹取器完全抓紧物件后会因拉伸弹簧的拉伸作用而不会造成用力过猛，也就不会将鸡蛋之类的易碎物抓破。

上述机构采用 4 个电动机提供动力，所有电动机都是由遥控器控制的。有关遥控器的内容可参考相应部分的内容。电动机的种类有两种：若采用低速电动机，则可直接用开关来控制电动机的前进与停止；若采用高速电动机，则需要将模型中的齿轮也替换成中速或高速的（速度过高也不合适）。在这种情况下，为了防止因电动机惯性造成的停止位置不精确可以加上制动器。制动器是利用电子方法吸收电动机在 OFF 后因惯性造成持续旋转的这部分能量，以此来缩短电动机的停止时间。

在照片与图中，由于采用了低速电动机，因此，也相应采用低速型的遥控器。在实际制作时，若采用高速齿轮，推荐采用带制动器的装置。

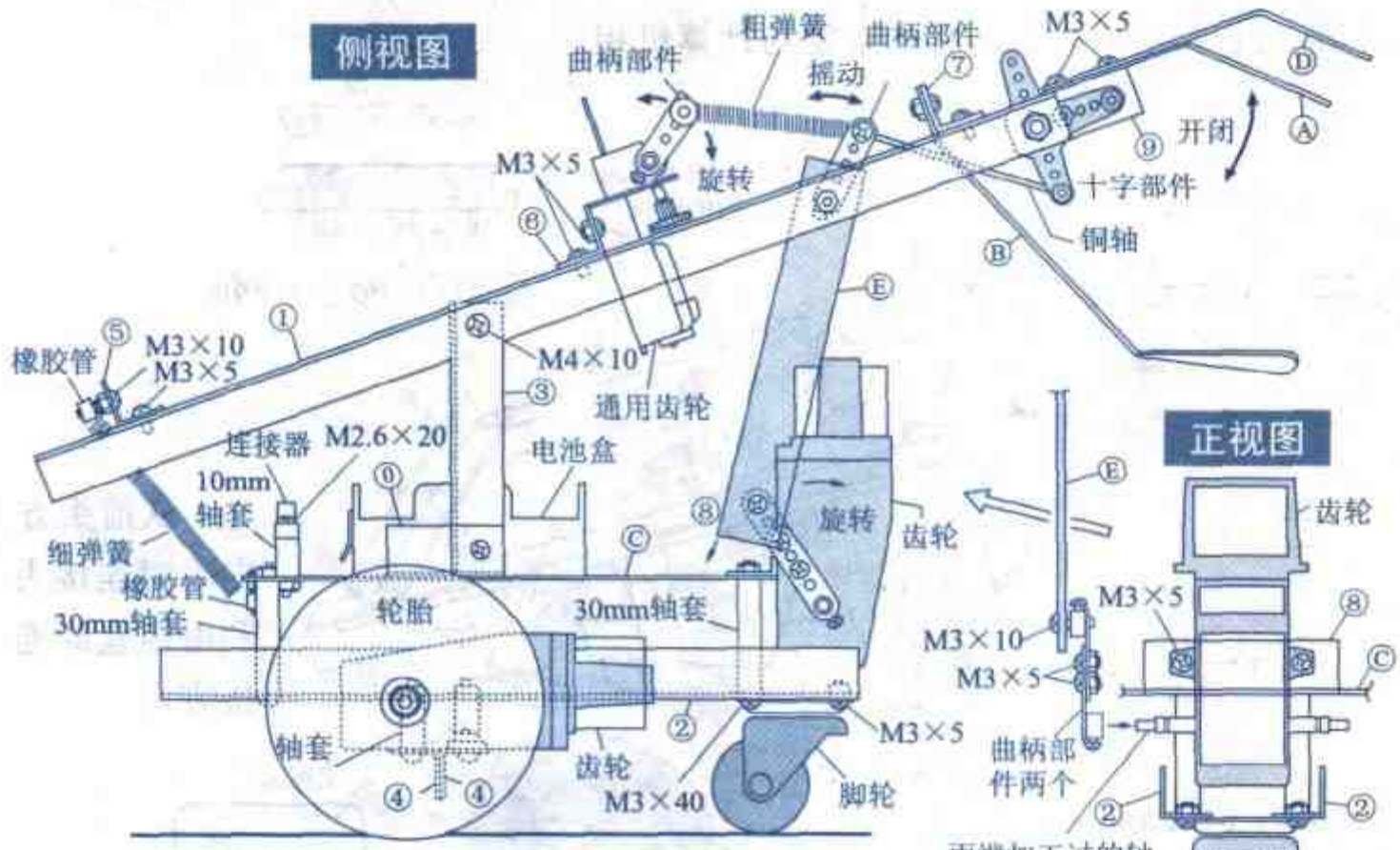
组成结构图

俯视图



齿轮箱按216:1,通用齿轮按719:1组装

侧视图

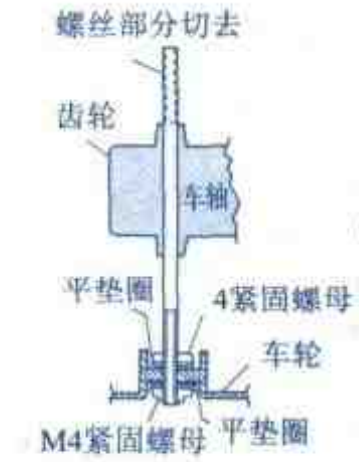


正视图

在齿轮的轴和齿面上涂抹润滑油

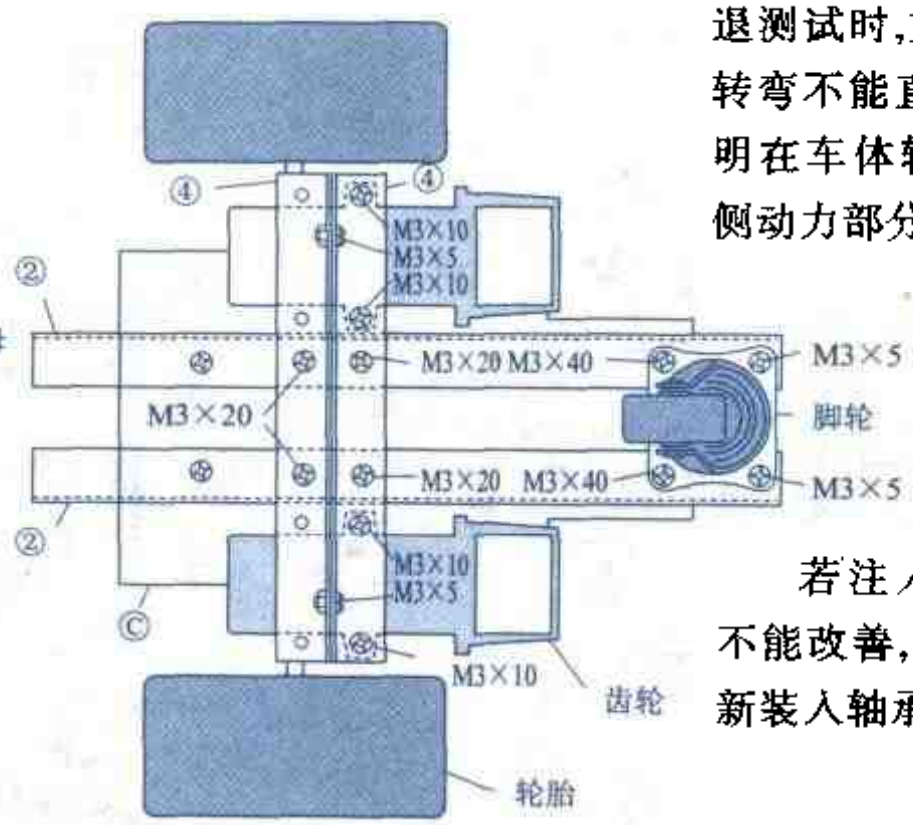
运行机构

M4紧固螺母是车轮的附件



车轮的断面图

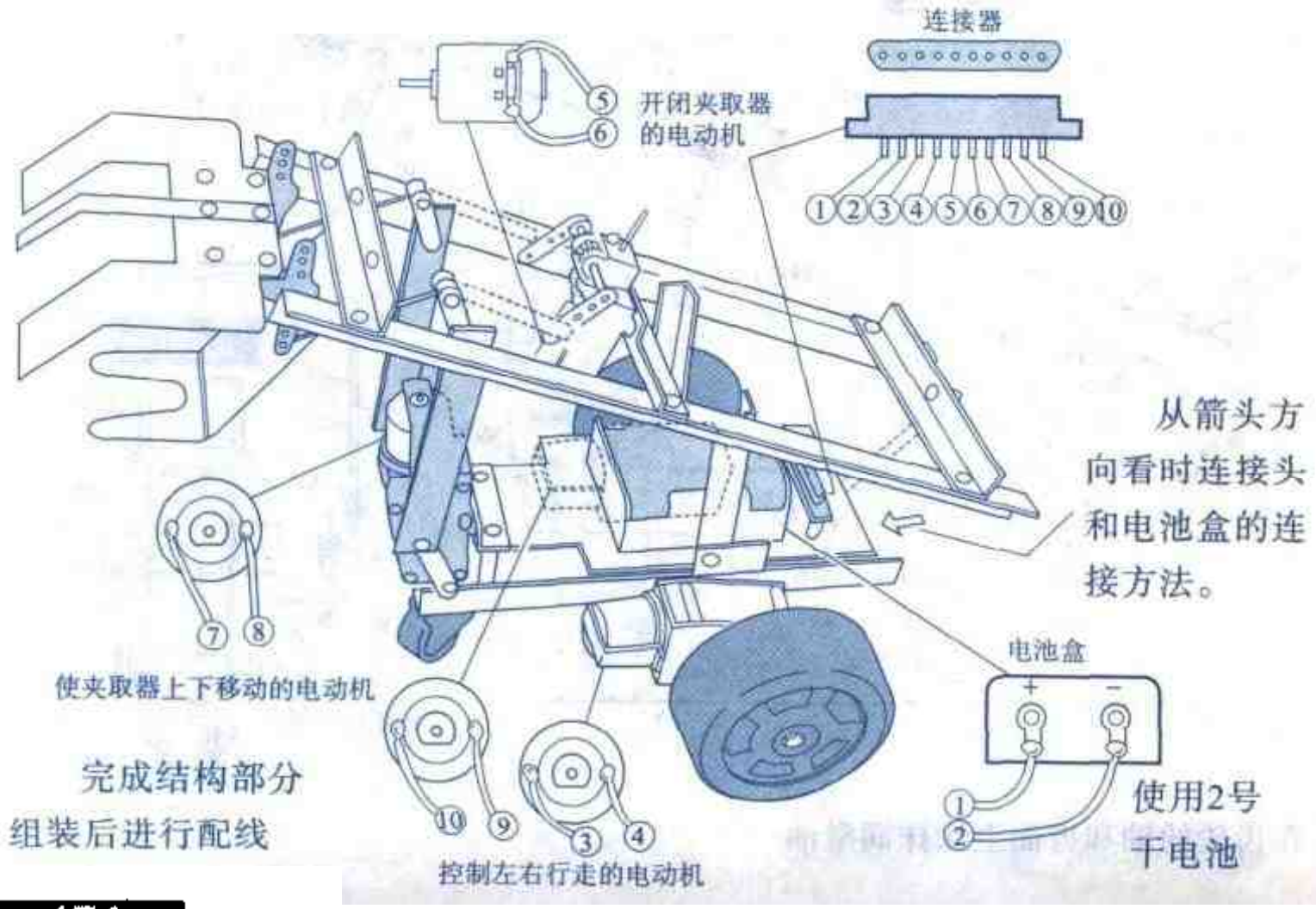
底面图



最初时可仅测试车体。当左右电动机加上相同电压进行前进、后退测试时,如果出现车体转弯不能直行的现象,说明在车体转弯方向的内侧动力部分有摩擦。

若注入润滑油后仍不能改善,可将其拆开重新装入轴承滚珠。

电动机和连接头的配线　按下图的方式配线,就可以使用遥控器A或遥控器B。如果使用遥控器B,由于它在左右行进的动力部分加有电子制动,因此可使停车位置准确。此外,还可以借助接口电路与计算机相连。



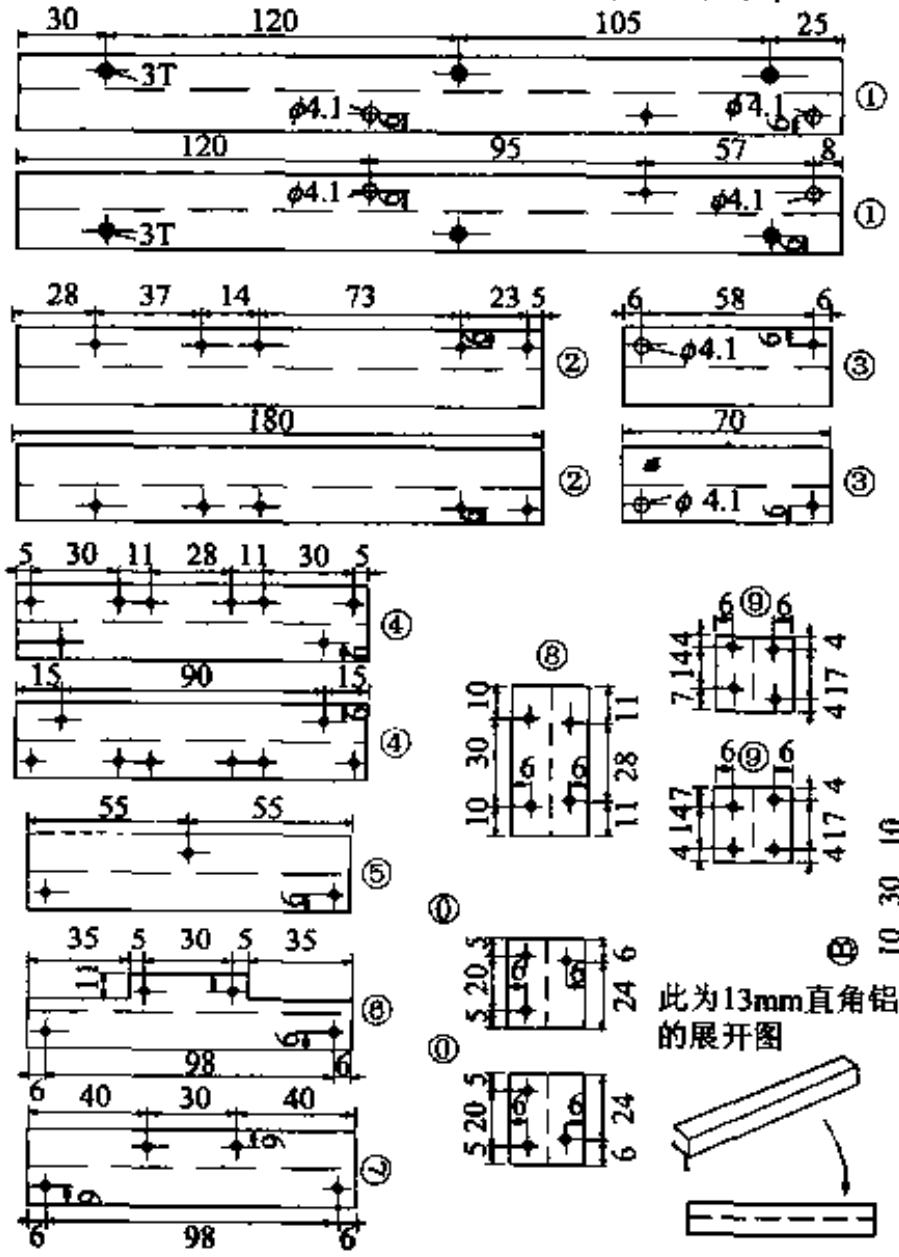
工作机器人的部件和结构材料图

部件表

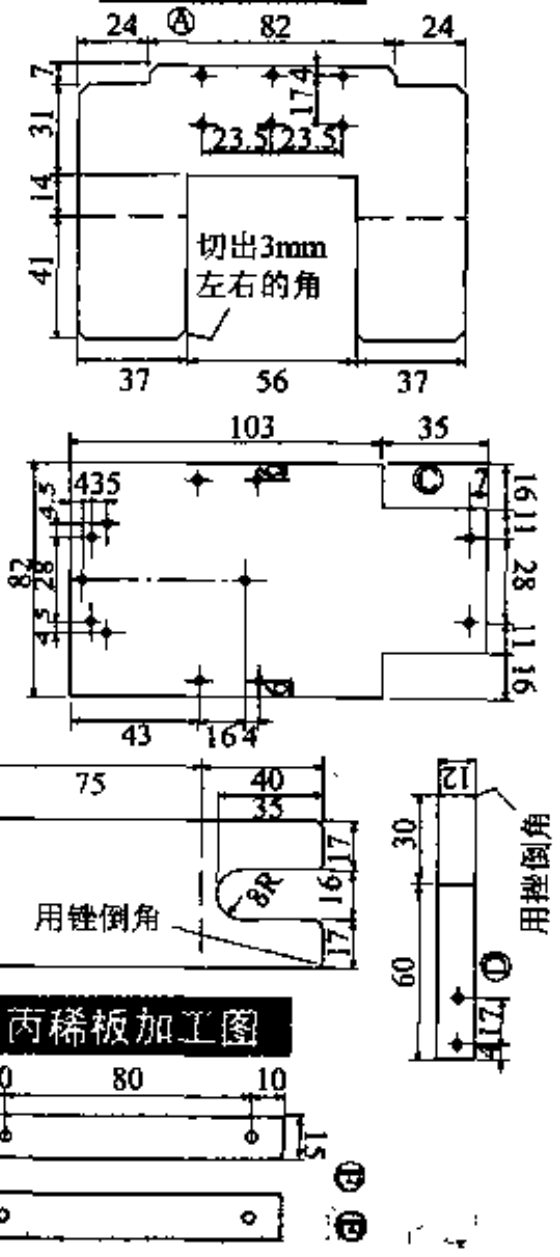
No	部　件	规　格	数量	No	部　件	规　格	数量
1	齿轮	HE 齿轮箱	3	13	曲柄部件	齿轮附属品以外	2
		(通用齿轮箱)	1	14	塑料轴套	3mm	10
2	电池	UM 2　锰电池	2			10mm	6
3	电池盒	UM-2　2 节用	1			30mm	4
4	脚轮	φ25 家具用	1	15	螺丝	M2.6×20	2
5	直角铝材	13L	参照图			M3×5	28
6	铝板	1mm	参照图			M3×10	10
7	丙稀板	3mm 浅灰色	参照图			M3×15	6
8	铜轴	φ2	参照图			M3×40	4
9	弹簧	φ5.5 L50 直径 0.6	2			M4×10	2
		φ5 L30 直径 0.3	1			M4×20	2
10	连接器	PCN6-10S-2.5DS	1	16	螺母	M2.6	2
11	轮胎	TGX 通用轮胎	1 组			M3	24
12	轮子	1/8AMG				M4	4
		梅塞德斯 C 级 DTM	1 组	17	导线、束线带		少量

直角铝材加工图

除指定以外的孔采用 φ3.2

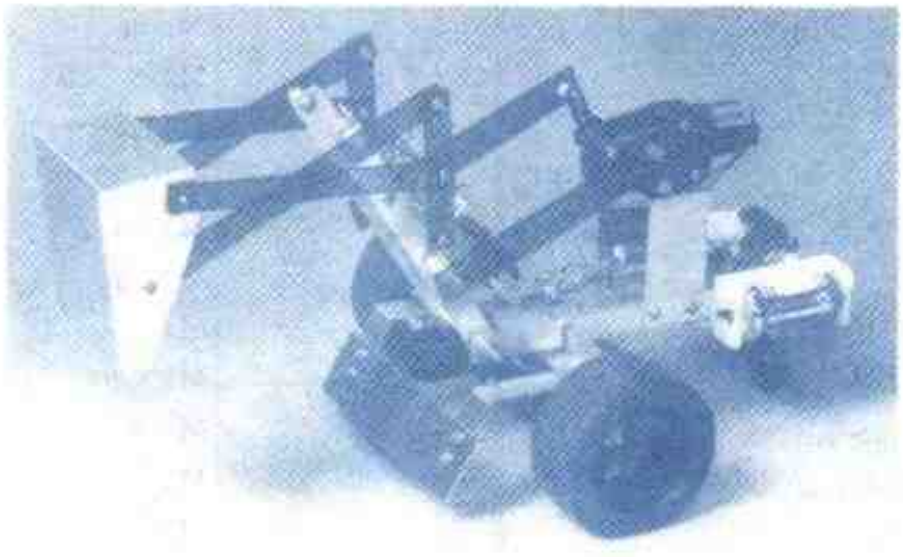


铝板加工图



丙稀板加工图

4 可用于各种机器人大赛的铲车



在道路施工中的铲车上，活动部分都是采用油压驱动的，若用连杆机构驱动，就可以制作出像照片中那种借助具有复杂机器臂来完成相应动作的小车。

这部分内容可作为连杆机构的内容学习。左右驱动轮采用的大功率齿轮HE，减速比设为64.8∶1。这种齿轮也可将减速比改成47.1∶1。当齿轮的减速比减小后，轮胎的转速就会加快，车速就会提高，但同时电动机的负担将会加重，耗电也将增加。在工作机器人中曾介绍过，采用减速比小的齿轮停止时由于电动机的惯性作用，小车难以停在准确的位置上。对于这种情况，可采用遥控器B来加以解决。如果运行时车速较快，停止时制动灵敏，这种车就可以工作得很好。

在遥控器B中装有左右行走用的制动电路，因此铲斗驱动机构和铲斗升降机构可采用齿轮来减速。此外，在此机构中，由于可将左右动力齿轮替换成齿轮箱，当希望铲车运动速度缓慢时可以进行替换。

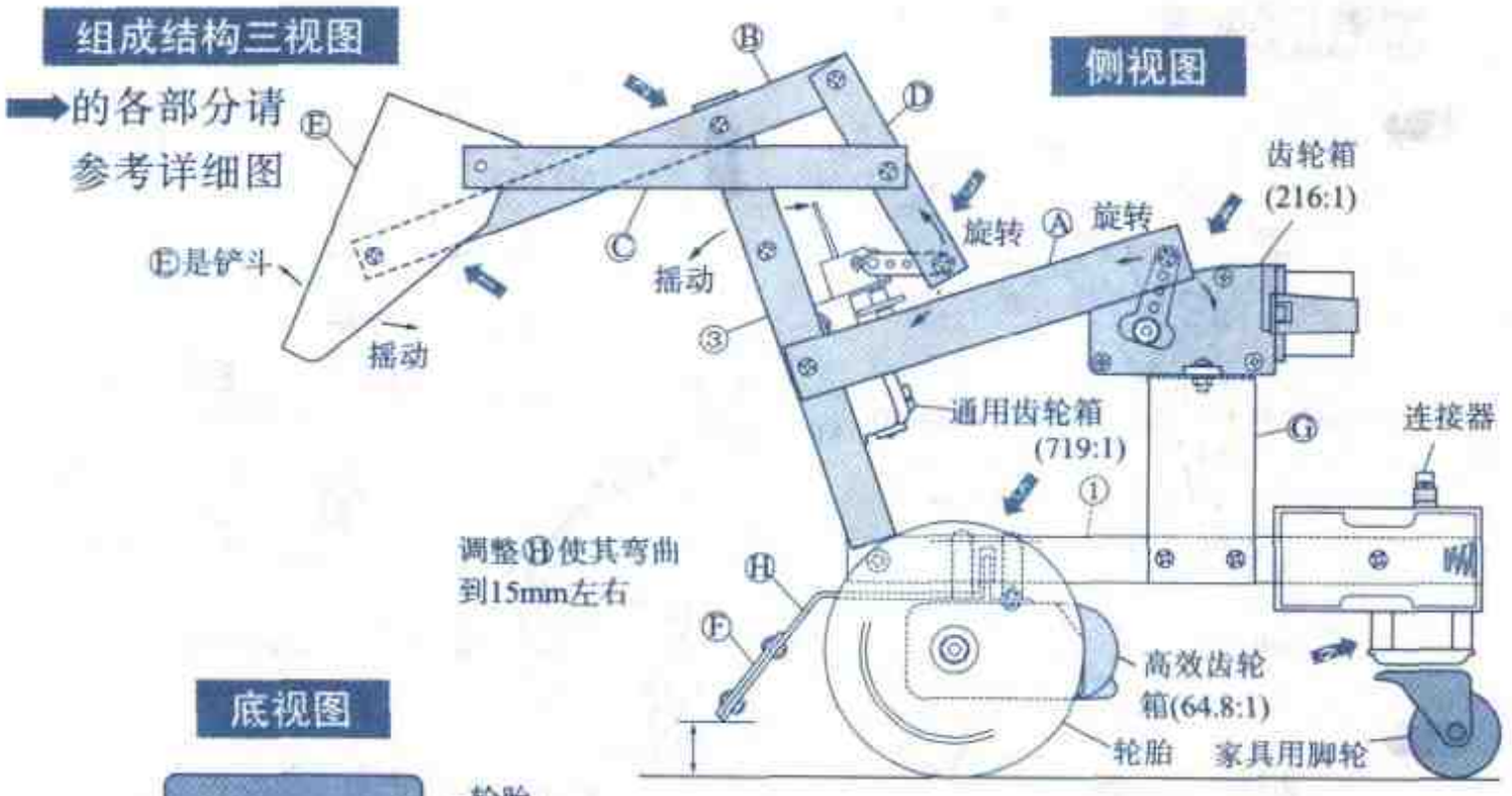
模型上配有电池。由于铲车的重心在前部，因此，电池还兼有配重的功能。即使采用外部电源也要保留此电池来配重。

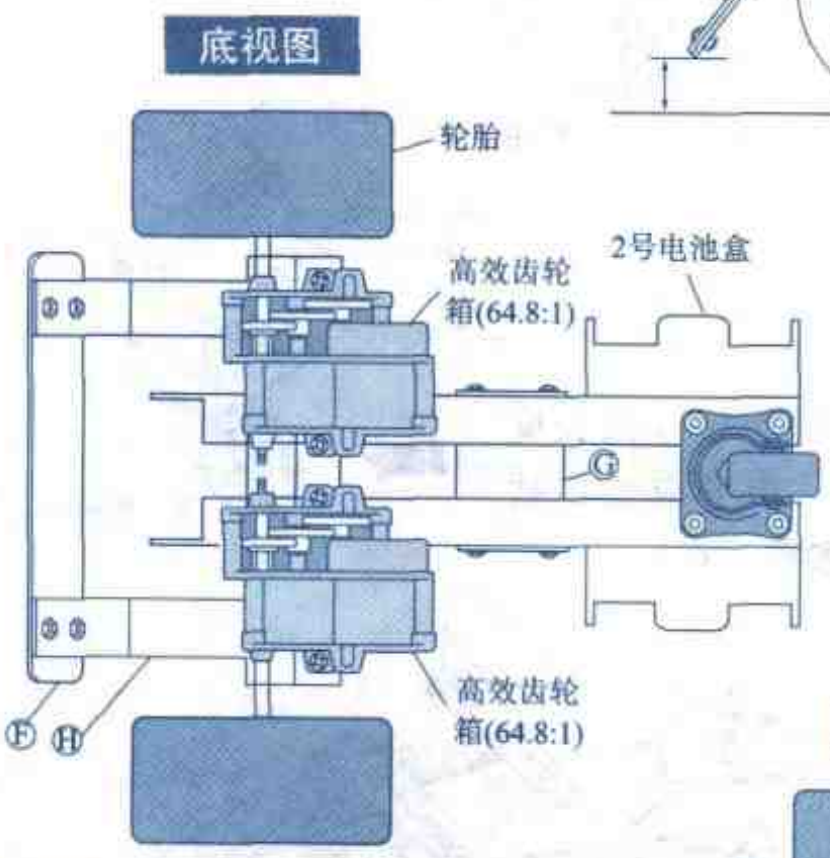
采用这种方式设计的原因之一是可以将其改造成计算机控制。使用普通的计算机时，需要借助接口电路，如果采用模型用的单片机，由于车上有电源就不需要接口电路了。

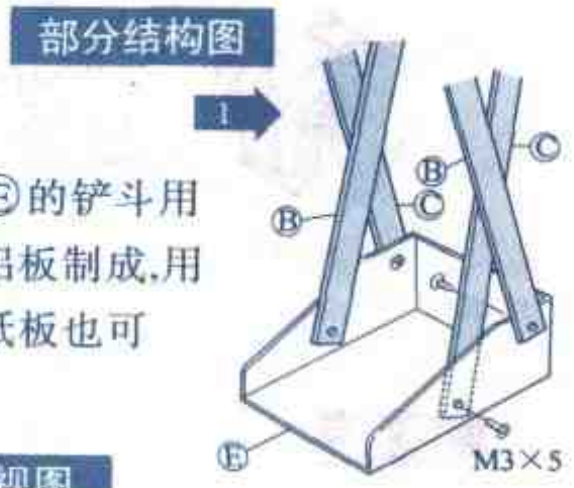
在铲车前端的铲斗部分是为了能方便拾起乒乓球而安装的，如果要拾起的是其他种类的物件，需要作相应的调整。

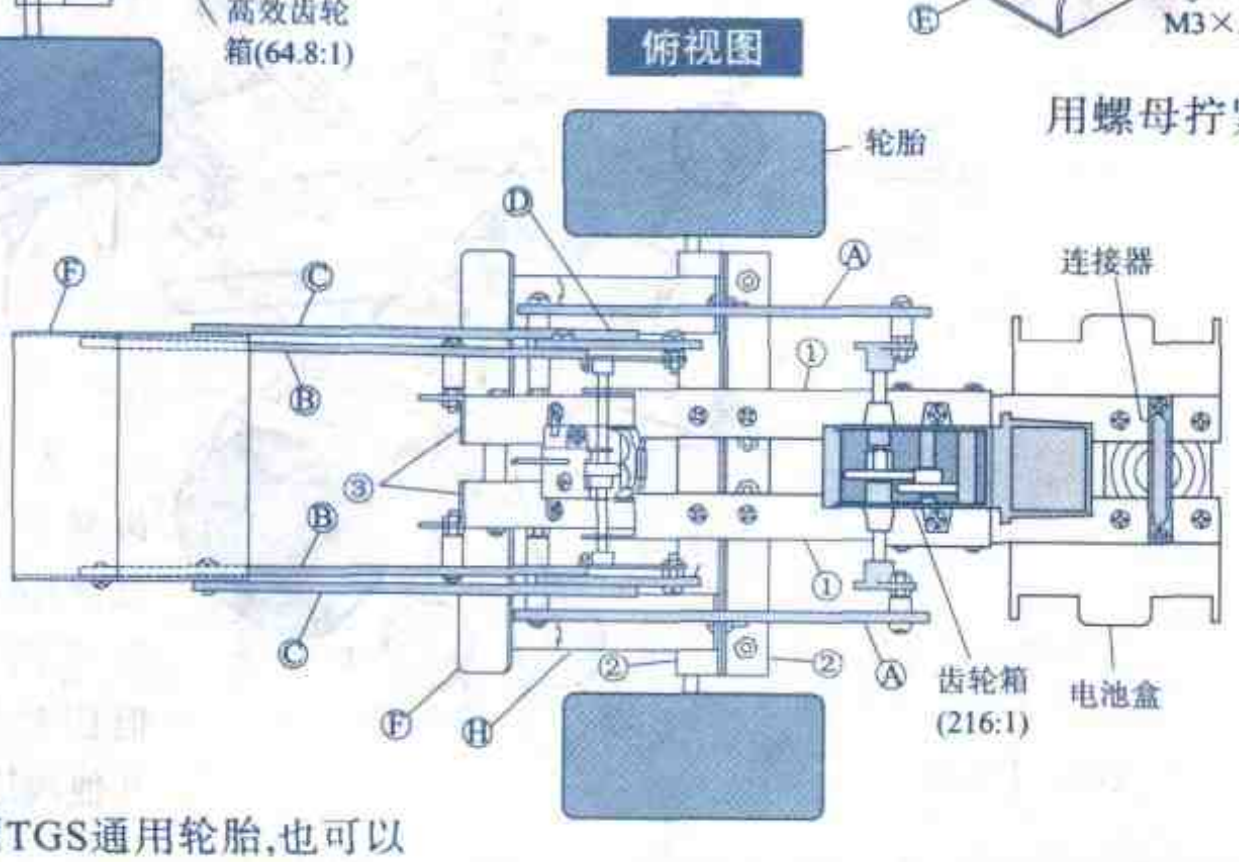
组成结构三视图

➡的各部分请参考详细图





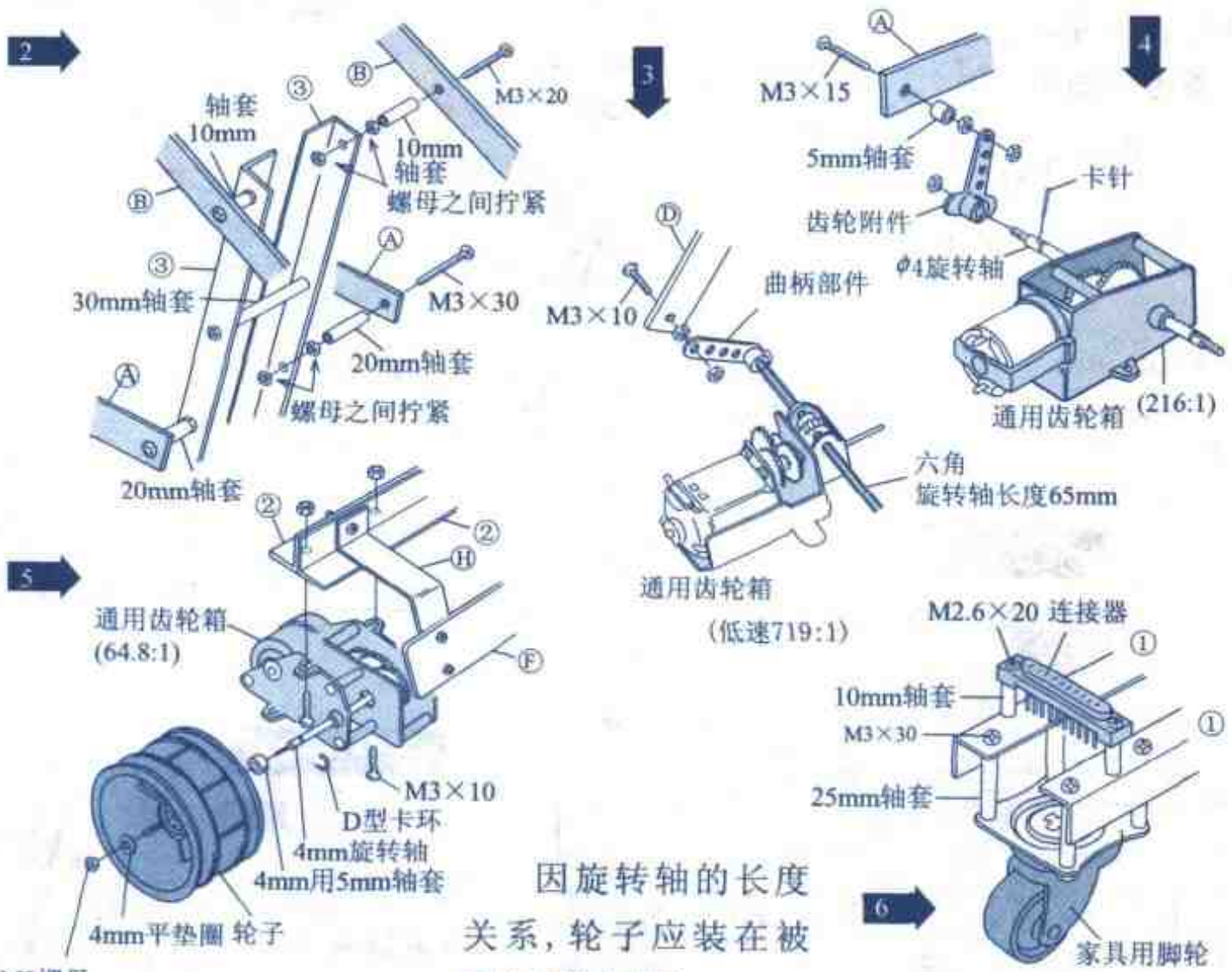




- 高效齿轮控制左右行进
- 齿轮控制铲斗上下移动
- 活动铲斗用于拾取物体

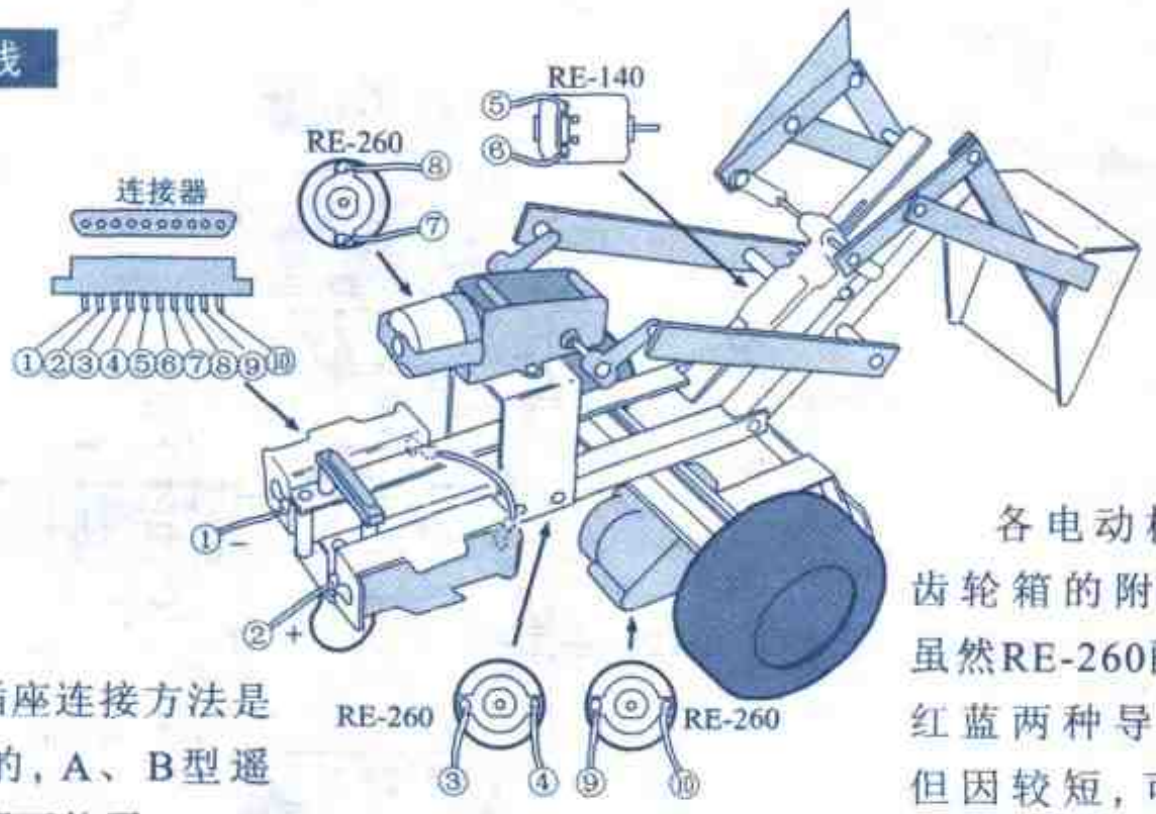
轮胎采用TGS通用轮胎,也可以使用空心轮胎。安装请参照图示。

组成结构图



因旋转轴的长度关系，轮子应装在被面(参照左图)

接 线



插座连接方法是通用的，A、B型遥控器都可使用

各电动机是齿轮箱的附件，虽然RE-260配有红蓝两种导线，但因较短，可用其他线连接

铲斗车的部件和结构材料图

部件表

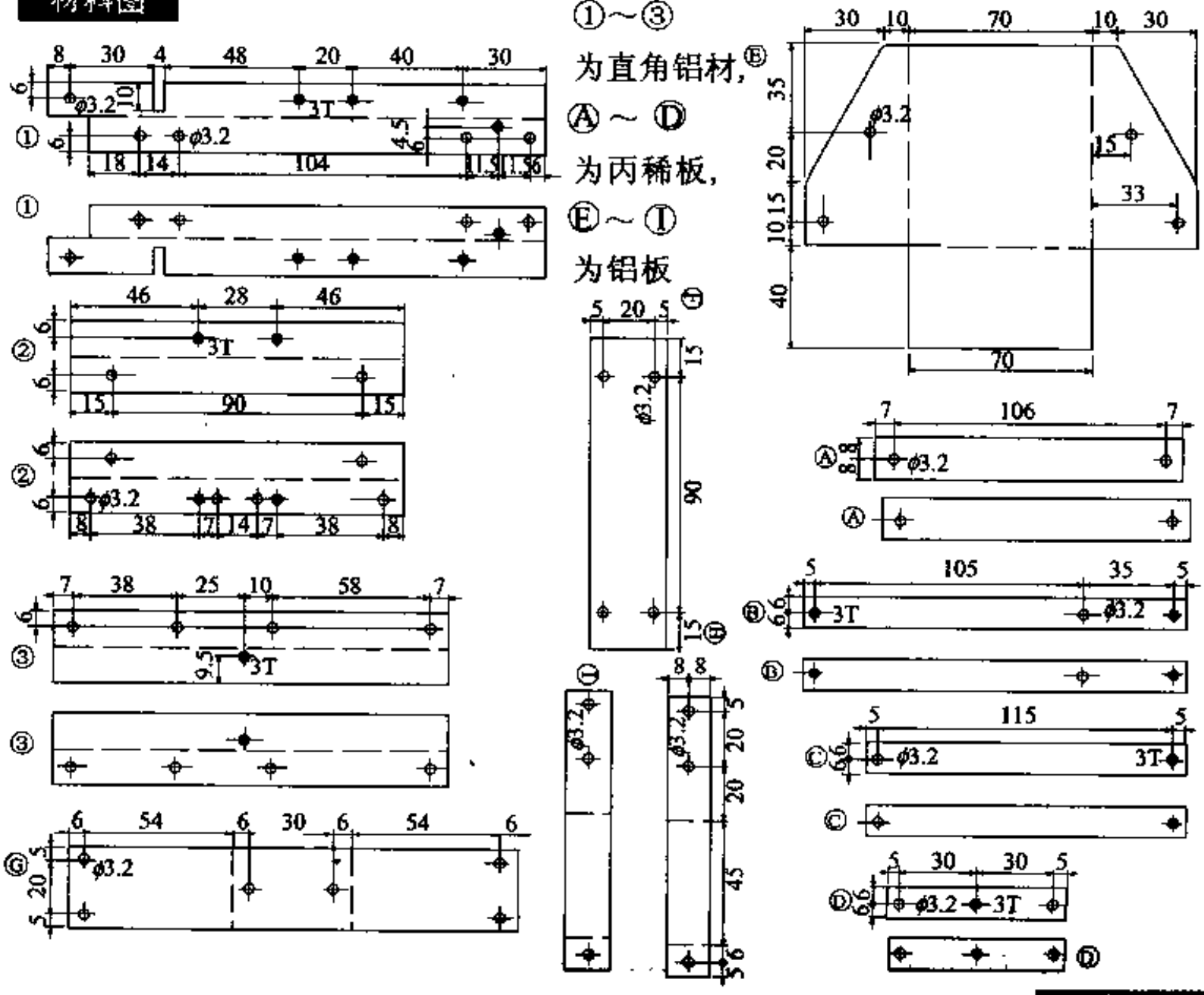
No	部　件	规　格	数量	No	部　件	规　格	数量
1	齿轮	HE齿轮箱	3	11	塑料轴套	5mm 10mm	各 2
		（含电动机 田宫）				20mm 35mm	各 2
		通用齿轮箱	1			15mm	4
2	轮胎	TGX	1 组	12	螺丝	M2.6×20	各 2
		通用轮胎				M3×5	各 2
3	轮子	1/8AMG				M3×30	各 2
		梅塞德斯 C 级 DTM	1 组			M3×35	各 2
4	电池	UM-2　锰电池	2			M3×5	18
5	电池盒	UM-2　单节用	2			M3×10	8
6	脚轮	φ25 家具用	1			M3×15	4
7	直角铝材	13L	参照图			M3×40	1
8	铝板	1mm	参照图	13	螺母	M2.6	2
9	丙稀板	3mm 浅灰色	参照图			M3	13
10	连接器	PCN6-10S-2.5DS	1	14	轴端	φ3	2
				15	导线、束线带		少量

材料图

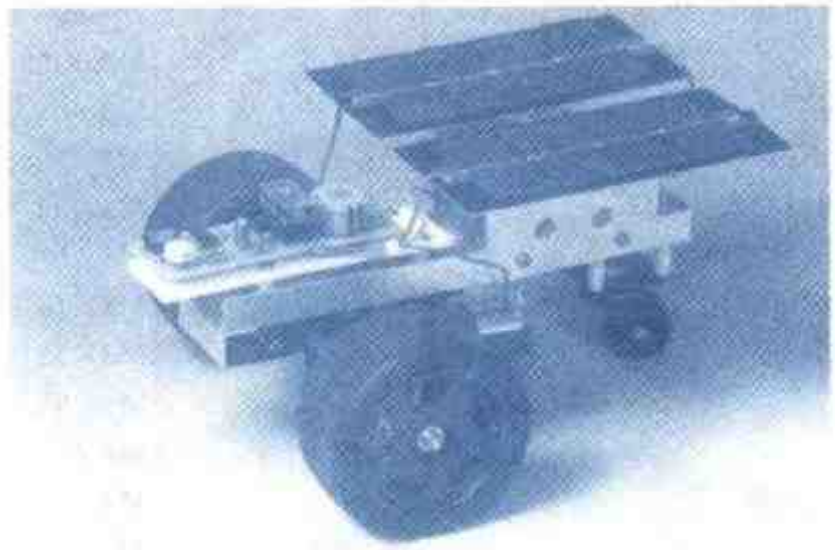
①～③为直角铝材，Ⓔ

Ⓐ～Ⓓ为丙稀板，

Ⓔ～Ⓘ为铝板



5 躲避阴影的向阳车



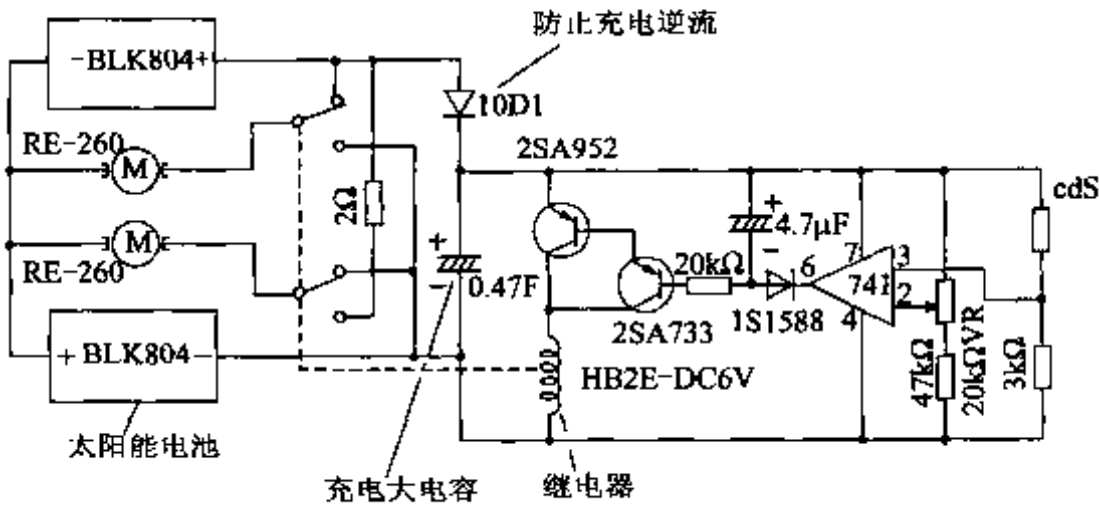
照片上的向阳车是由两块太阳能电池构成的。其中的一块电池被阴影遮蔽后，该车就会自动地从阴影中转出来。这是由于两块太阳能电池分别驱动不同的电动机，当一侧的电池被遮蔽后，它所驱动的一侧电动机就会停止转动，因此向阳车就可以从阴影中走向明亮处。此外，若前部进到阴影处，则车内的继电器就会工作，将电动机反转，将小车从阴影中退出。

此时，如果仅仅是电动机反转，则会因小车的一侧转出阴影而另一侧又转入阴影，不能完全从阴影中完全退出。因此，在小车的一侧电动机上串联一个电阻使两个电动机的转速不同，这样就可以使小车以转弯方式后退。

此外，当小车前部进入阴影时，为了避免因环境条件使继电器不能正常工作，采用 0.47F 的充电大电容做备用电源。驱动继电器的电路采用由运放 741 构成的光传感器检测电路。太阳能电池 1 片能提供 2V、0.4A 的电力，电动机和电路分别采用 2V 和 4V 驱动电源。太阳能电池在无负载时能产生略高于 2V 的电压，当连接上电动机等电流较大的负载时，如果光照差则会使电压降到 2V 以下。因此，此车应在光照好、凸凹较少的柏油路面上运行。若在沙石路面上运行，由于车轮直径小，小车有可能被卡住而动弹不得。

由于齿轮采用了 HE 齿轮箱，故车速不会太快，但力量较大，因此有些许不平时，小车还是能够通过的。此车曾尝试采用高效齿轮，但由于速度太快，在较小场地运行的效果并不理想。若是在路面上运行，建议最好只给转轴注入润滑油，因为若给齿轮也注入润滑油将会粘上灰尘。

电路图



继电器除了采用6V的HB2E-DC6V外还使用了5V的HE2E-DC5V。也可完全采用HE2E-DC5V。

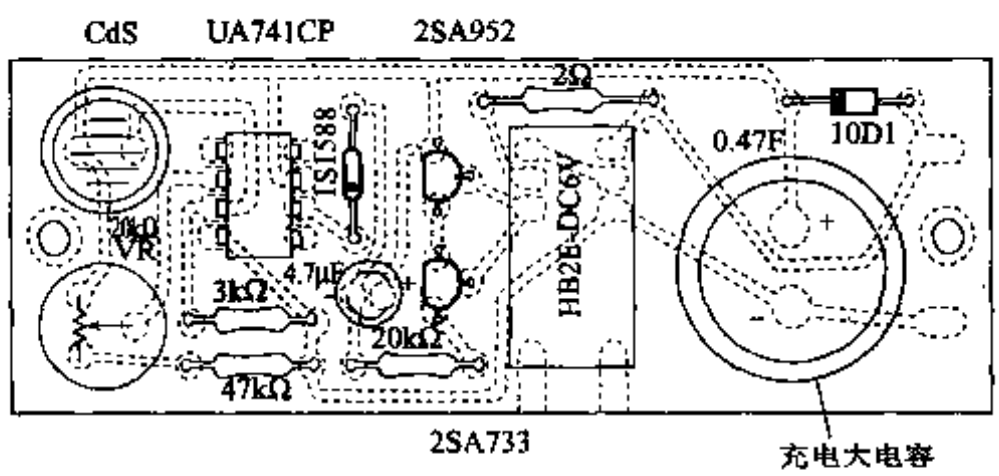
此外，也可采用3V的继电器，只是电路的总电流将增加1成。

●关于CdS

CdS(硫化镉)是一种光敏电阻，由于它具有表面受到光照时电阻值减小，放到昏暗场所时阻值增大的特点，常被用来做电路的光传感器使用。

外观上，除塑料封装和金属封装的之外还有无封装的，大小以φ5～φ15为主，自身消耗的电流在2～3mA左右，与晶体管或IC一起可组成光敏电路。

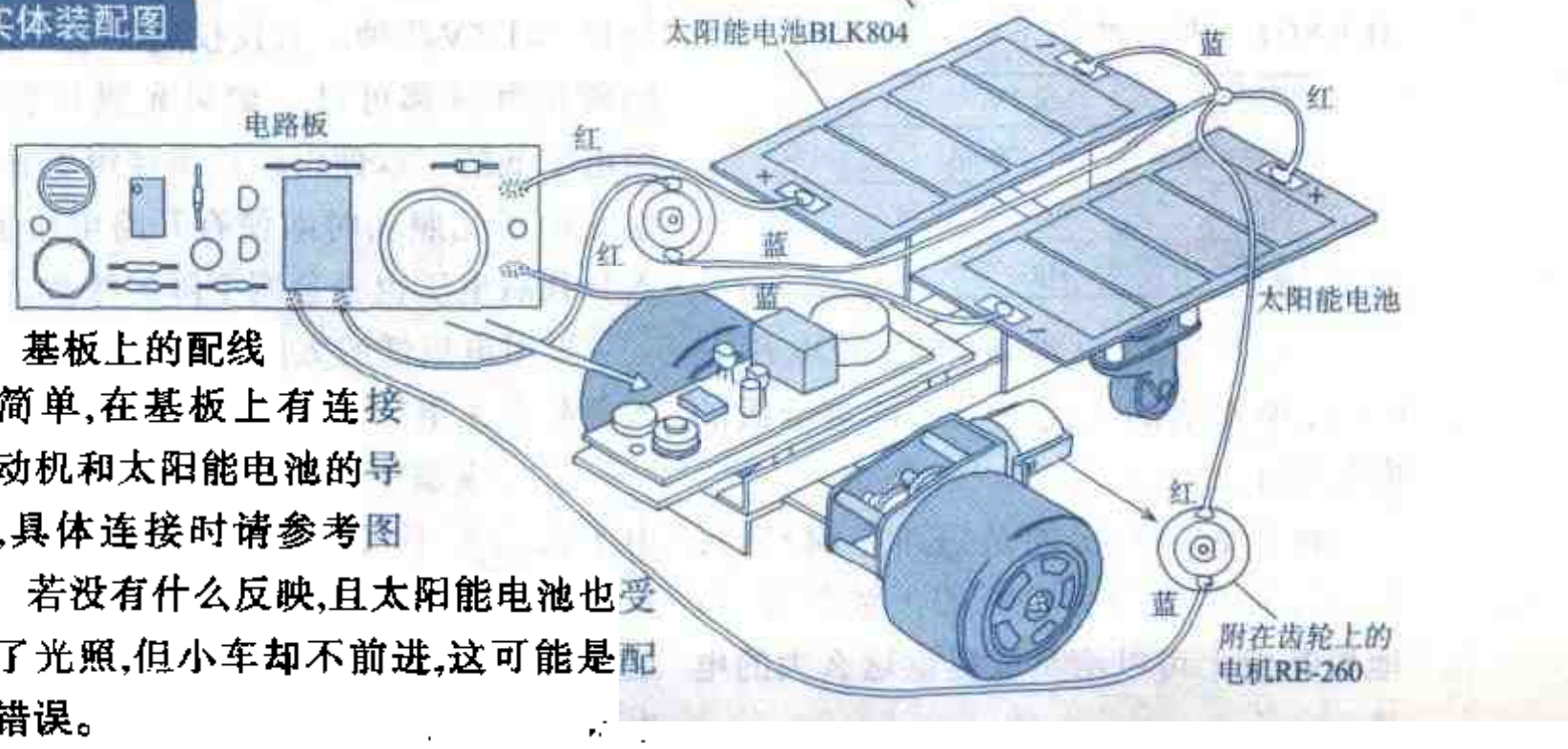
电路板的制作



IC引脚序号

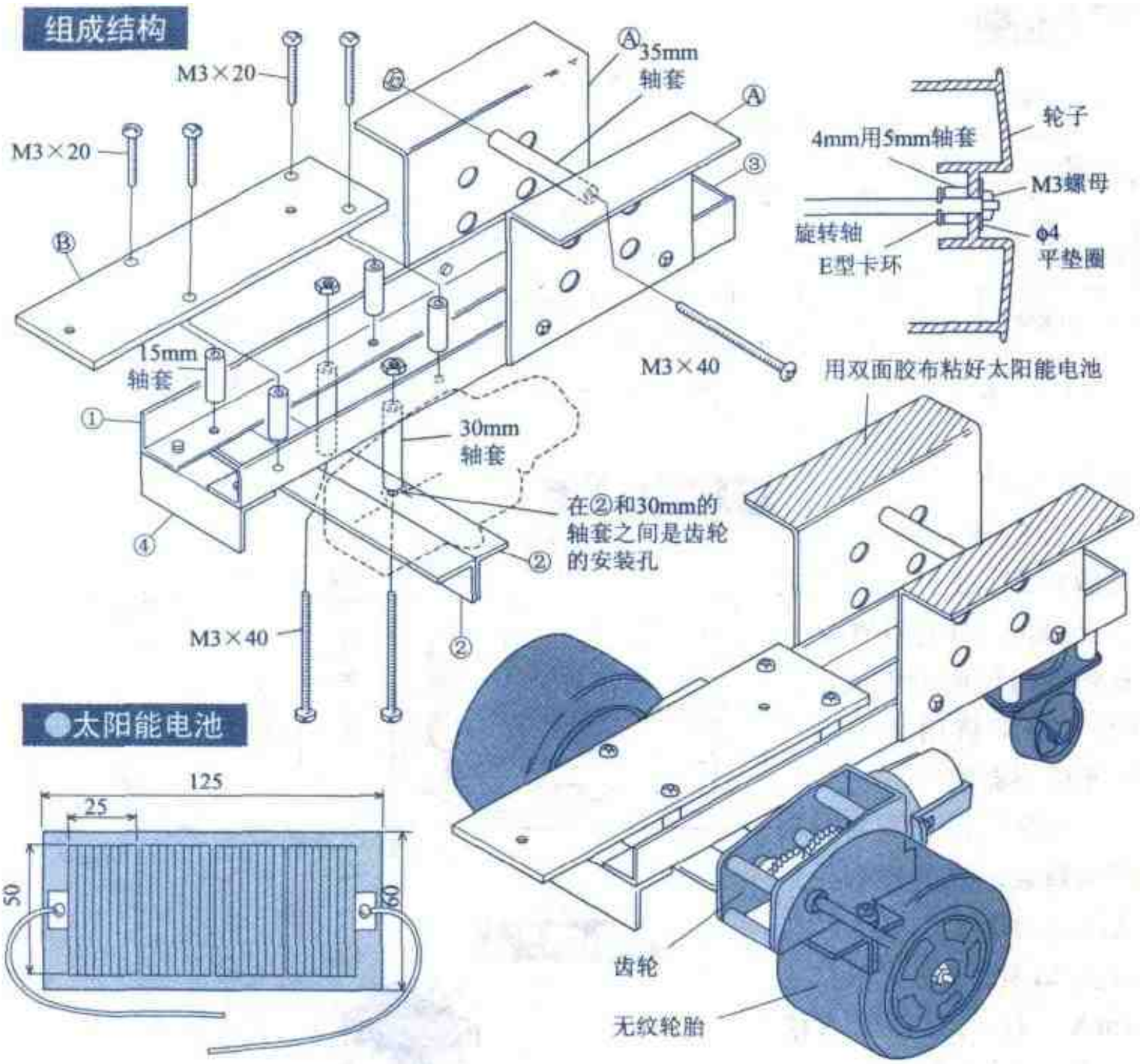


实体装配图



基板上的配线很简单，在基板上有连接电动机和太阳能电池的导线，具体连接时请参考图

若没有什么反映，且太阳能电池也受到了光照，但小车却不前进，这可能是配线错误。



图示为本模型使用的太阳能电池板BLK804。电特性如下：

开路电压	Voc 2V
短路电流	Isc 400mA
尺寸	60×125×2.5t
重量	34g

1枚太阳能电池板产生的电压是0.5V，能输出的电流与太阳能电池板的面积成正比。

特性表中给出的是短路电流，它可作为能提供的最大电流的大致参数，电池板基板上可以给负载提供这么大的电流。

在BLK系列的太阳能电池中，电压分1V和1.5V两种。若仅仅是驱动电动机则使用哪种都可以。如果光照较弱，采用电压低的可以使电动机运转得更好些，这是由于光照弱时即使有开路电压但接入负载后电压也会急剧下降的缘故。

采用电压低的太阳能电池时，即使接入负载产生电压下降损失也不会太大。

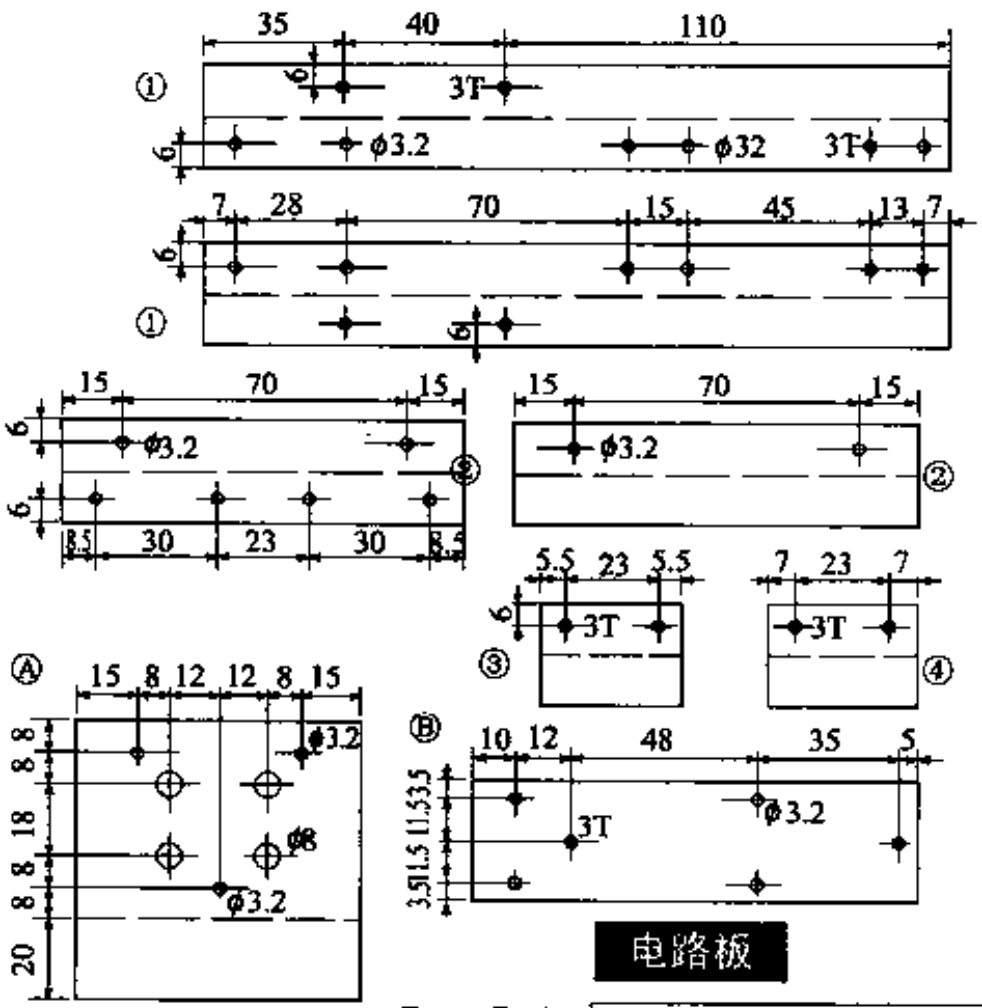
在此模型中采用了2V电池板，这是由于向阳车不仅要行进，还要在前部进入阴影后靠电路中的IC实现控制，因此至少需要4V电压。采用低电压也能使继电器工作的方法不能解决这个问题。

向阳车的部件和结构材料图

部件表

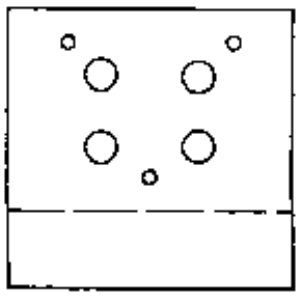
No	部　件	规　格	数量	No	部　件	规　格	数量
1	齿轮	HE齿轮箱	2	12	晶体管	2SA952(日电)	1
		(含电动机 田宫)				2SA733(日电)	1
2	轮胎	无纹轮胎	1 组	13	IC	UA741CP(德克萨斯)	1
3	轮子	1/8AMG		14	CdS	φ10	1
		梅塞德斯 C 级 DTM	1 组	15	二极管	IS1588　10D1	各 1
4	太阳能电池	BLK804(双面胶布)	2	16	电阻	2Ω　3kΩ　20kΩ　47kΩ	各 1
5	脚轮	φ25 家具用	1	17	半可调电阻	20kΩ	1
6	直角铝材	13L	参照图	18	塑料轴套	3mm　30mm	各 2
7	铝板	1mm	参照图			15mm	8
8	丙稀板	3mm 白	参照图	19	螺丝	M3×10　M3×35	各 2
9	电路板	一种	1			M3×5　M3×20	各 8
10	继电器	HBIE-DC5V(松下)	1	20	螺母	M3	10
11	充电大电容	0.47F 5.5V(NEC)	1	21	导线、束线带		少量

材料图

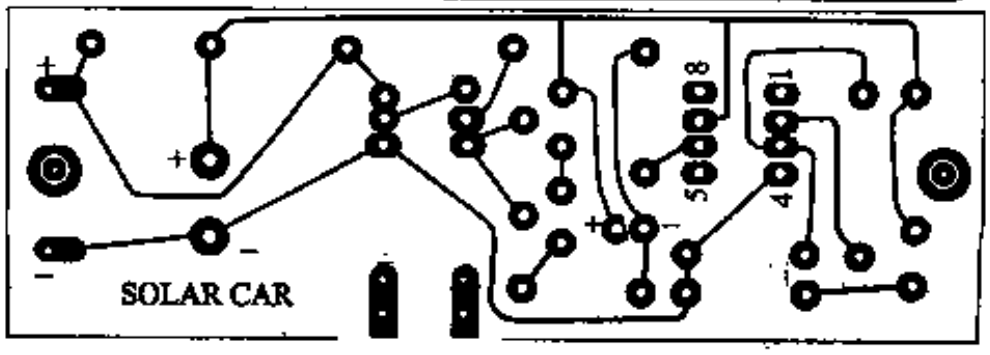


电路板

Ⓐ



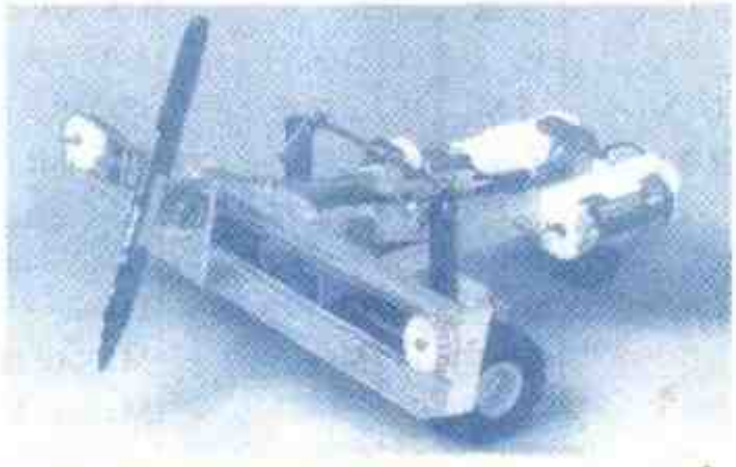
①～④为直角铝材，Ⓐ为铝板，Ⓑ为丙稀板。



专栏1

充电大电容是一个大容量电容，常用来作电子电路的备用电源使用。如果用3V对1F的电容进行充电，在它放电时就可以点亮小灯泡或驱动电动机运转7～8s。由于它的充电时间过长，因此在向阳车中采用0.47F的大电容。在日光照射充足的情况下充电也需要10s，这期间IC电路不能工作。在冬天的光照射下有可能根本充不了电。当光照较弱时它同旧电池相同，虽然有电压但不能输出电流。

6 能写字的习字机器人



绘图仪是一种在横向和纵向都能移动的机构，它安装有笔等工具，能写字或画图。另外，还装有用较长皮带或链条驱动图板上的笔移动的机构。如果将这个移动部分安装上车轮，采取将其不固定在图板上写字的方法制成机器人，就是所谓习字机器人。

首先，为了使其能够前后运动要用车轮移动车体，并在它的前端采用链条制成能向左右移动的机构，做成车轮式 XY 绘图仪。在此基础上再添加可以使笔尖能够上下（Z 方向）移动的机构就可以了。

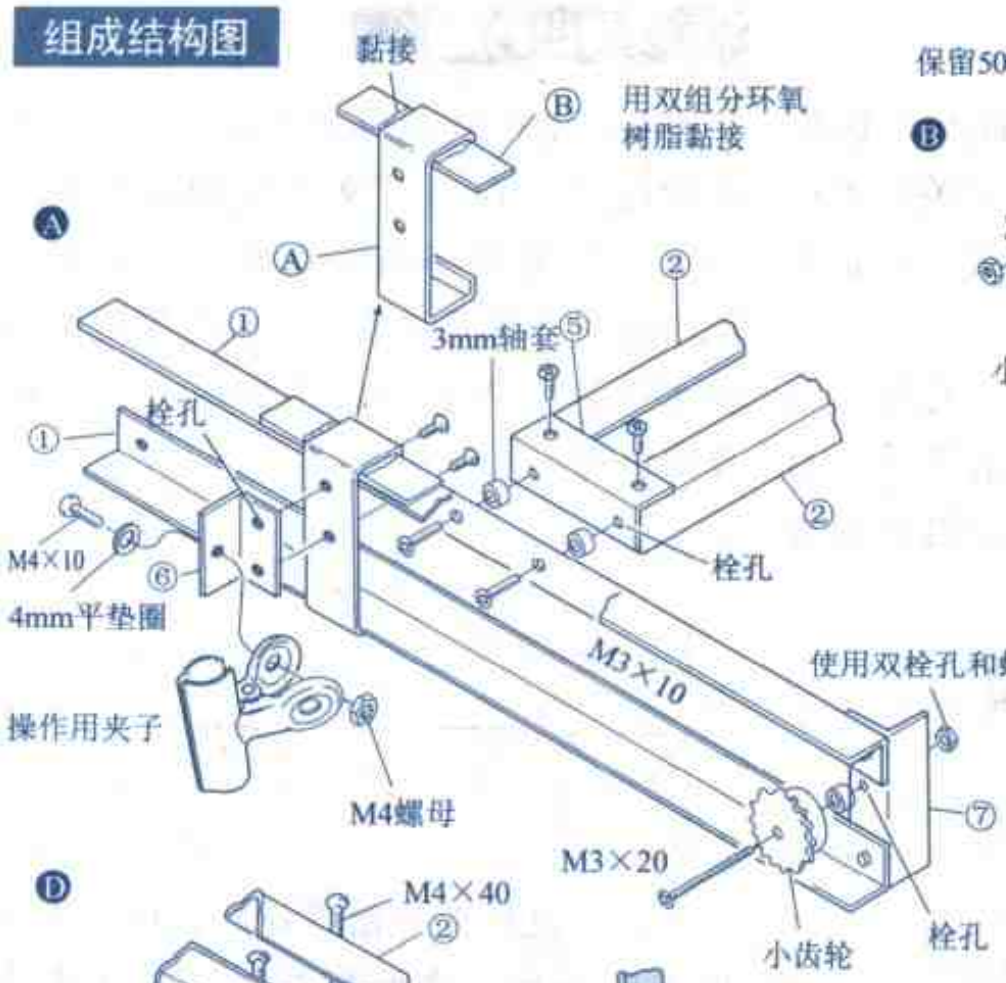
通常的红外遥控机器人和无线遥控机器人，都可以从后面观察模型，然后像开汽车一样来控制左右移动。但是，如果习字机器人也采取这种方式进行控制，从模型后面可能看不到笔尖。因此，模型采取了从后面配置电动机配线的方式，以便于能从前面边看笔尖边用红外遥控器进行控制。此设备中采用一个电动机完成前后向的移动。由于左右车轮安装在同一个轴上，因此它不能旋转。在书写时，如果需要画斜线必须在 X 与 Y 方向同时移动。

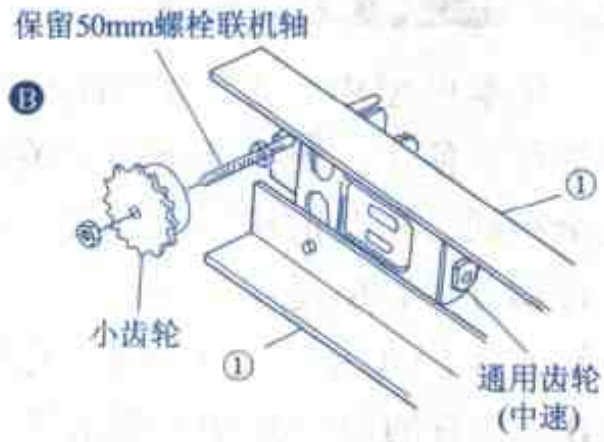
习字机器人的画笔要采用蘸水笔或毡尖笔。由于 Y 方向（横向）的最大移动距离是 25cm，因此，5cm 大小的字只能写 3 行左右。

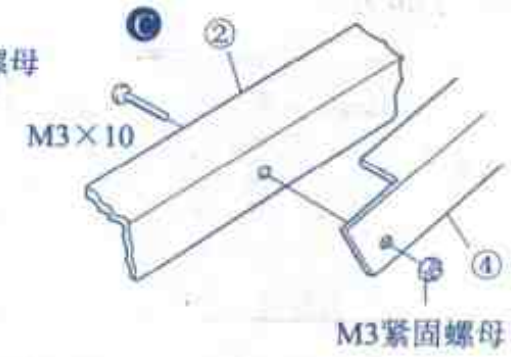
虽然车中的齿轮全部采用低速齿轮，但由于电动机的惯性写起字来还是不太理想，如果可能，请采用 B 型红外遥控器。

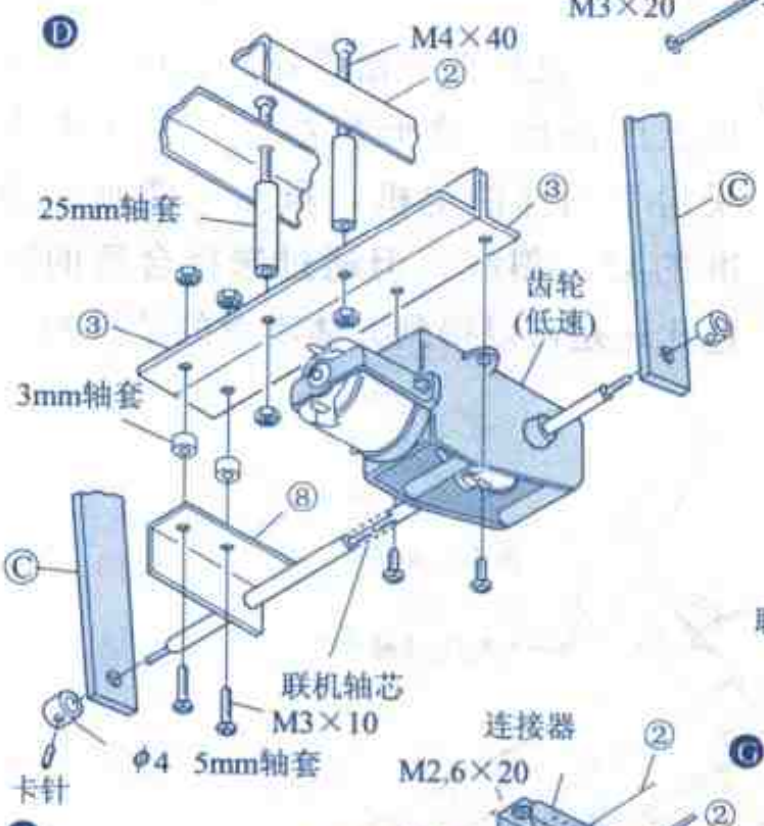
此外，此机器人可以与计算机相连以充分发挥文字和图形书写机构的功能，当采取这种方式时，请适当考虑对包含接口电路在内的各部分加以相应的改进。（注：采用 B 型红外遥控器时，请参照红外遥控器安装图替换其中的部分配线。）

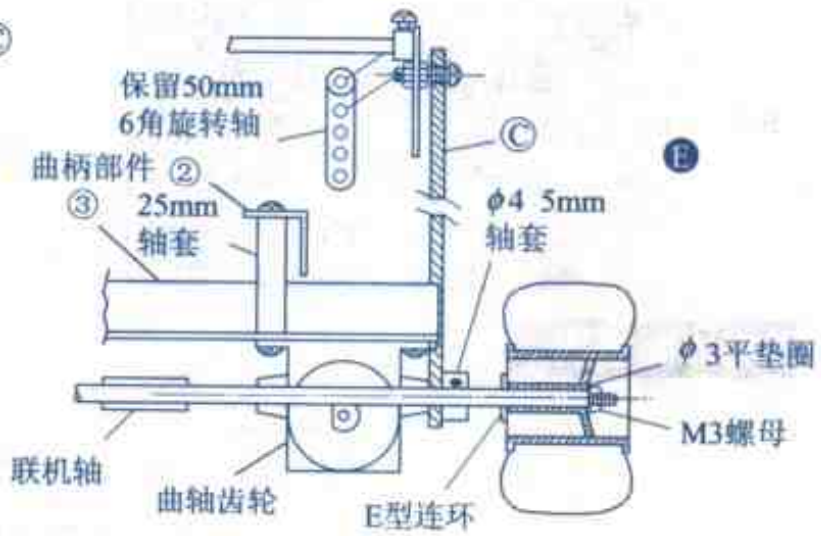
组成结构图





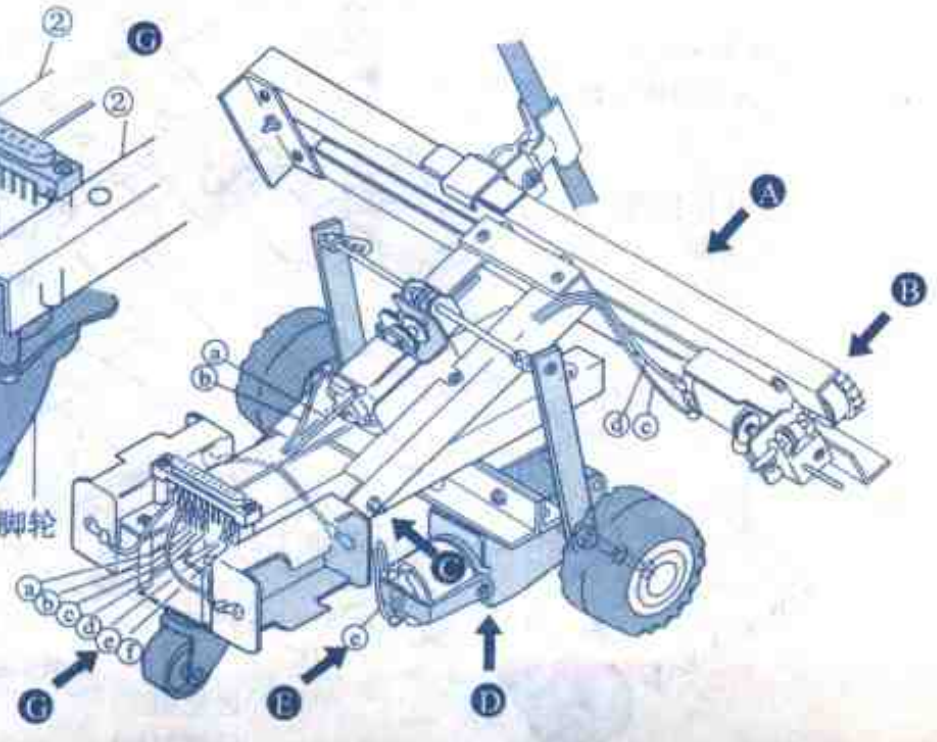










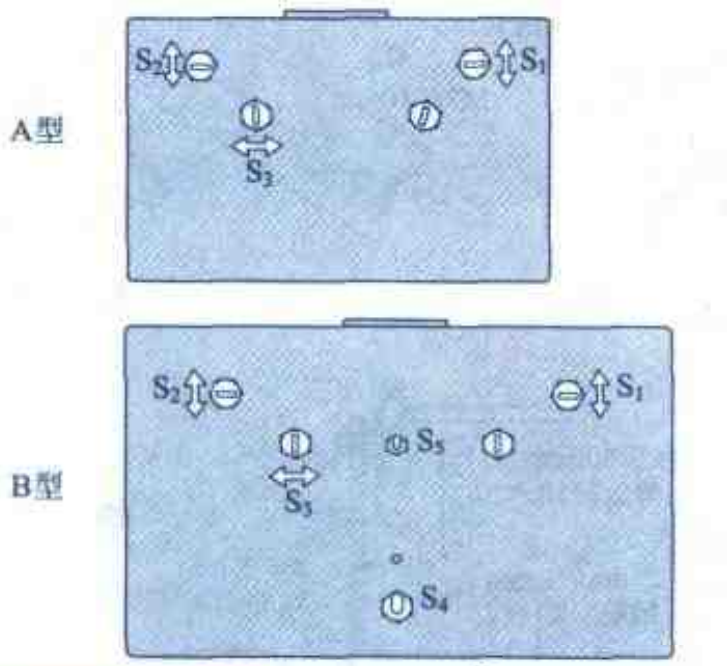


尽管可以使用内径是5mm的橡胶管，使用 Ⓕ 图中的金属管更好一些。

部分组成结构图是从右面的完成图的箭头方向看去的效果。

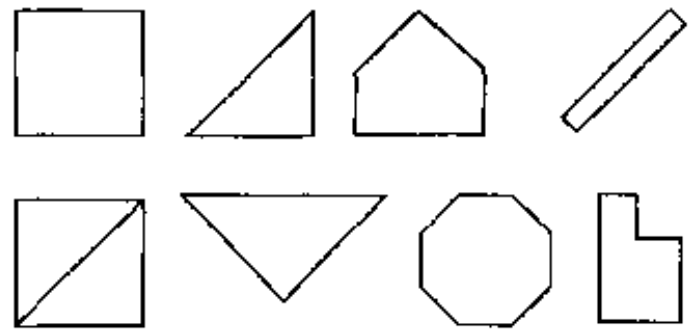
红外遥控器的使用方法

在本模型中，A、B两种红外遥控器都可以使用。遥控器上的开关位置也完全相同。S_1是前进后退开关，S_2是上下移动开关，S_3是左右移动开关，S_4是电源开关(A型中无此开关)。此外，S_5是B型特有的启停制动电路的开关。有关它的电路内容，请参考介绍红外遥控器的部分。



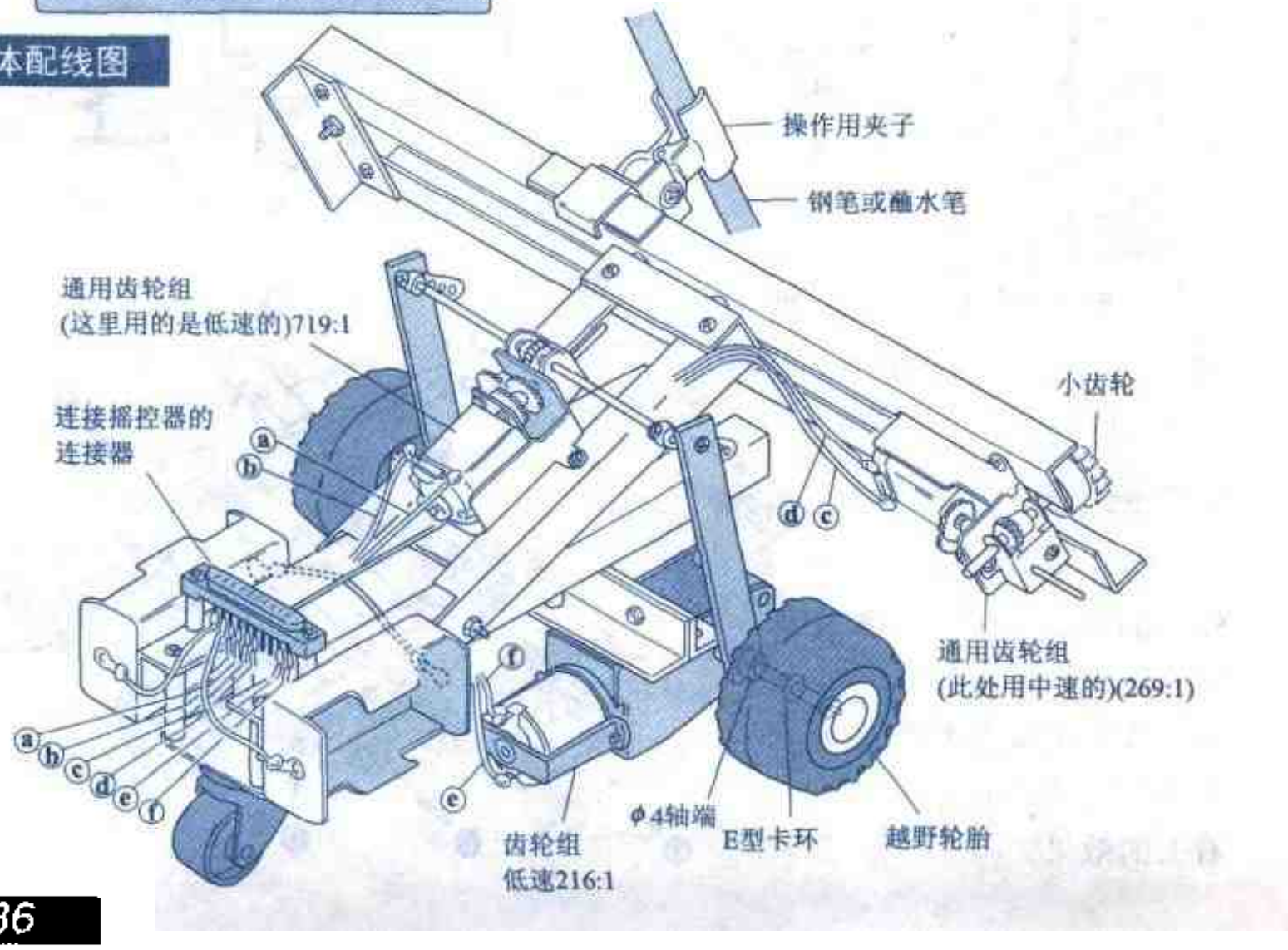
可以画出的图形

本模型可以书写文字并能画一些简单的图形。在书写文字或画图之前，为了使笔尖能够贴到纸面上，需要先按动S_2开关将笔尖落下。画笔最好采用蘸水笔，因为它很轻不会成为动力部分的负担。



采用红外遥控器或计算机可以画出如上的图形。在画斜线时，由于车中采用了同样的电机，虽然不能画出标准的45°斜线，但通过选择合适的转速比还是可以得到大体满意的结果的。

实体配线图

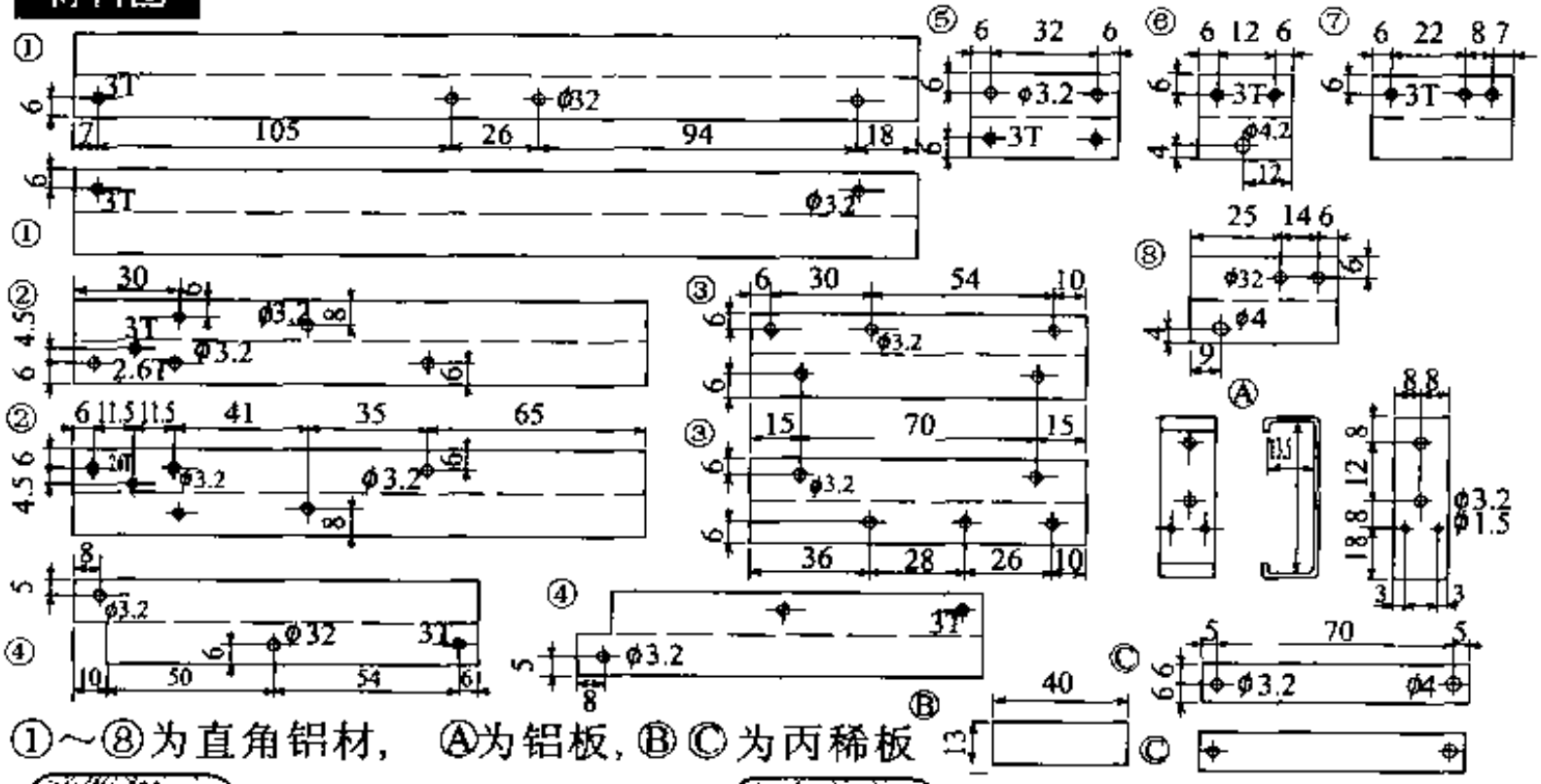


习字机器人的部件和结构材料图

部件表

No	部　件	规　格	数量	No	部　件	规　格	数量
1	齿轮	HE 齿轮箱	1	12	轴节	φ3	1
		(含电动机 田宫)		13	轴端	φ4	2
		通用齿轮箱	2	14	螺丝	M 2.6×20	各 2
		(带有电动机)				M 3×5	各 2
2	轮胎	轮胎(含轮子)	1 组			M 3×5	16
3	电池	UM-2 锰电池	2			M 3×10	9
4	电池盒	UM-2　1 节用	2			M 3×20　M 4×10	各 1
5	脚轮	φ25 家具用	1			M 3×30	4
6	小齿轮	齿数 20	2	15	螺母	M 2.6	2
7	齿轮链条	齿距 3.75	55cm			M 3 紧固螺母	2
8	直角铝材	13L	参照图			M 3	16
9	丙稀板	1mm 透明	参照图			M 4	1
		3mm 浅灰色	参照图	16	平垫圈	φ4	2
10	连接器	PCN6-10S-2.5DS	1	17	接地连接拴	φ3	1
11	塑料轴套	3mm　25mm	各 6	18	配线、束线带		少量

材料图



①～⑧为直角铝材，　Ⓐ为铝板，Ⓑ Ⓒ为丙稀板

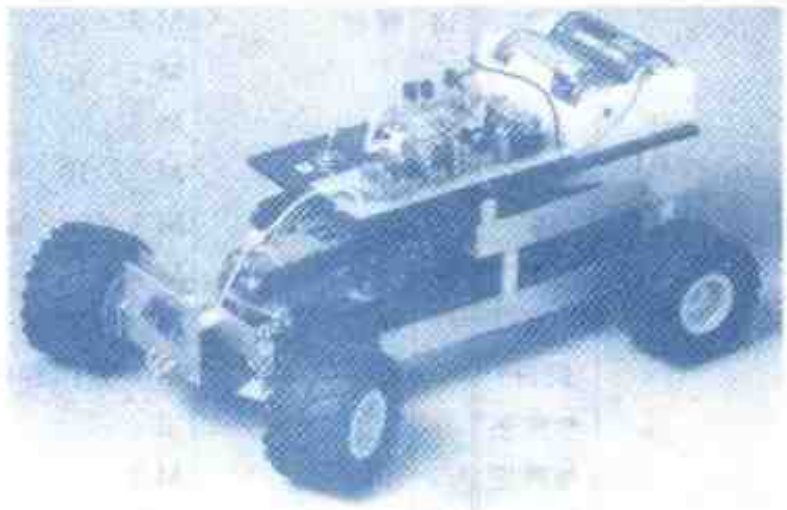
专栏2

由于篇幅的关系这里没有说明，事实上，该机器人还可在机器人与计算机之间借助接口电路实现计算机控制，用这样的机构同样可制成习字机器人。画简单的图形时，还可以采用单片机来完成。

专栏3

在光线自动追踪机器人中，前面的矩形黑板是用来遮挡传感器的，如果将它做得小一些，就会提高光源朝向的灵敏度。此外，通过加装遮光罩、调整黑板与传感器之间的距离等方法来改进对应光的反应，将会得到更好的效果。

7 能攀壁行走的自动转向车



转向机构是一种通过方向盘改变汽车前轮方向的机构，若从连杆机构角度考虑也称为平行连杆机构。在模型中可以再现这种动作，用齿轮取代方向盘，其电动机由传感器电路驱动。

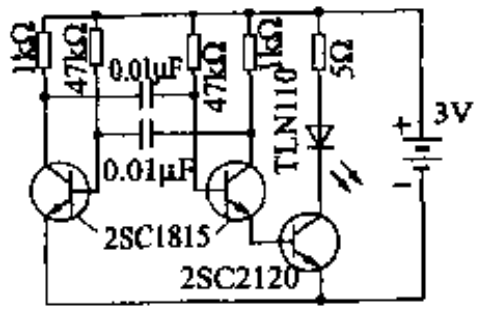
传感器电路与线跟踪机器人的电路基本相同。由于线跟踪机器人电路中红外 LED 发出的红外线能由相距只有几毫米的纸张反射，因此对红外 LED 要求不高。不过，此处所要设计的模型要沿墙壁行走，红外光的反射距离要达 20～30cm，为此，必须使用大输出功率的红外 LED。

这种 LED 也被用于电视的红外遥控器，如果朝向正确，其可控范围可达几米之外。但反射光，控制距离可能不足。此外，控制距离还会受到墙壁颜色的影响。在试验时，可用白色箱子做障碍物，模型可在 20～30cm 的范围内正常运行。

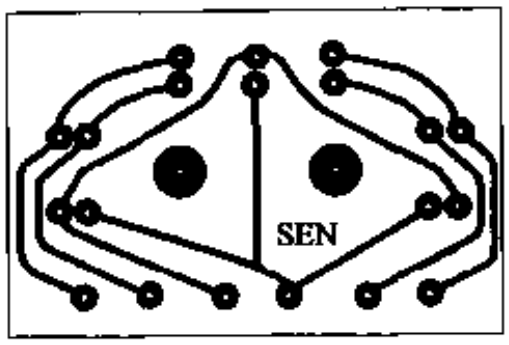
此模型的电路中还有与线条跟踪机器人不同的特殊部分。可以想象，当传感器接收到反射光后，前车轮将转向箱体的相反方向，传感器中的信号就会立即消失，将会造成车体在前车轮刚离开障碍之后又立即返回，这会使后车轮撞到箱体角上。也就是说，后车轮与前车轮并不是沿同一条路线行进，它们之间存在着一定的偏差。这就需要控制方向盘使前车轮的转动角度更大一些。此问题在电路中采取的方法就是在继电器电路中的晶体管输入端添加定时器。

转向机构通过在横向上添加触碰开关来限制车子的移动范围。由于它安装在驱动转向的齿轮地面，因此，会自动形成与前车轮连动的运行状态。具体的问题请参考机构组装图。

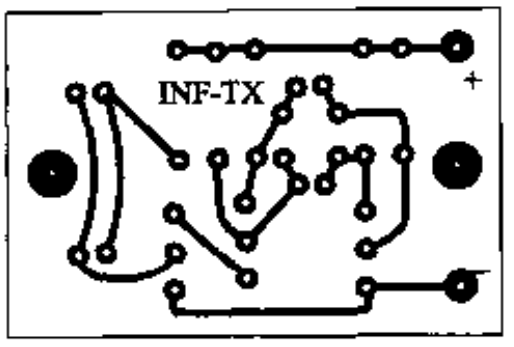
发光电路

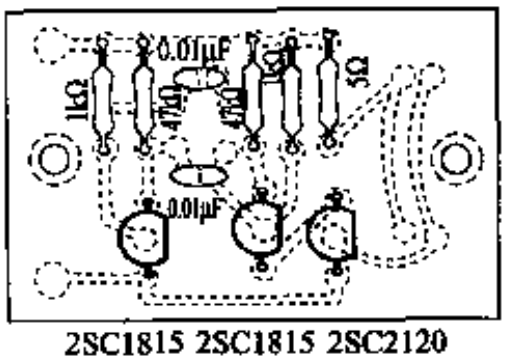


传感器电路板



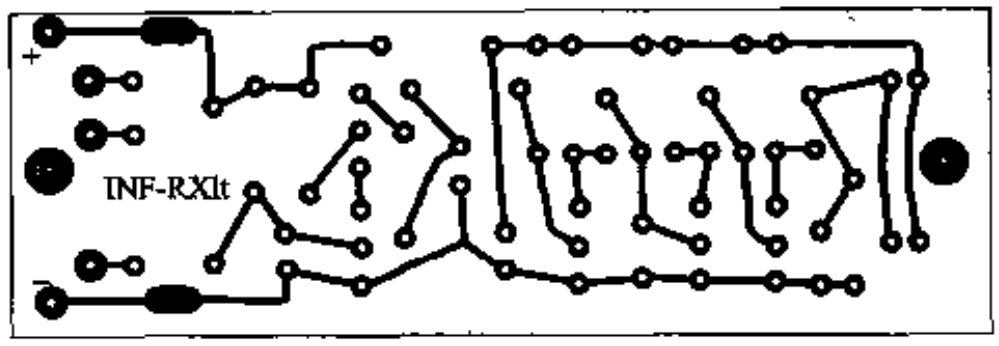
发光电路板





2SC1815 2SC1815 2SC2120

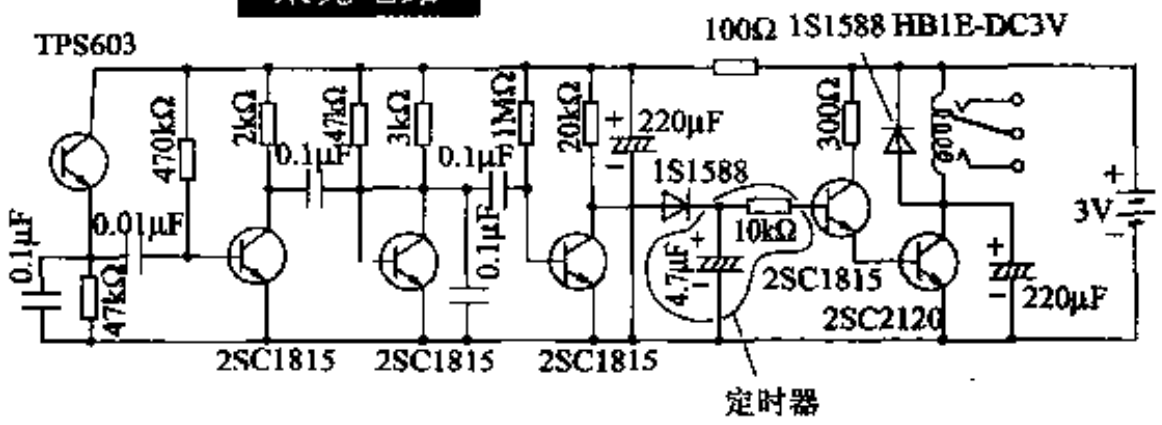
采光电路板



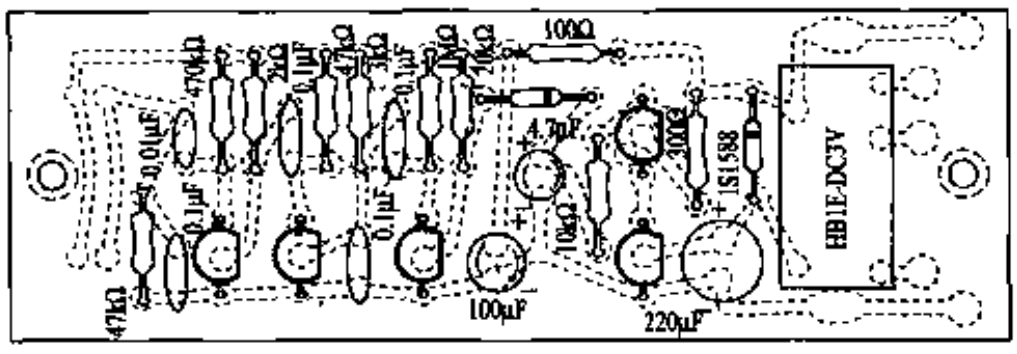
此模型的电路和电路板同线跟踪机器人基本相同，差异之处是添加了定时器用以延长继电器的工作时间，以及采用了输出功率更大的红外发光器件。

为此，串联的电阻采用较小的阻值(5Ω)以使其能流过更大的电流。请参考下表。

采光电路



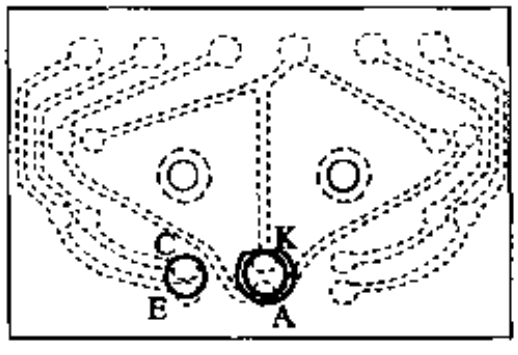
1S1588 2SC1815



2SC1815×3　　2SC2120

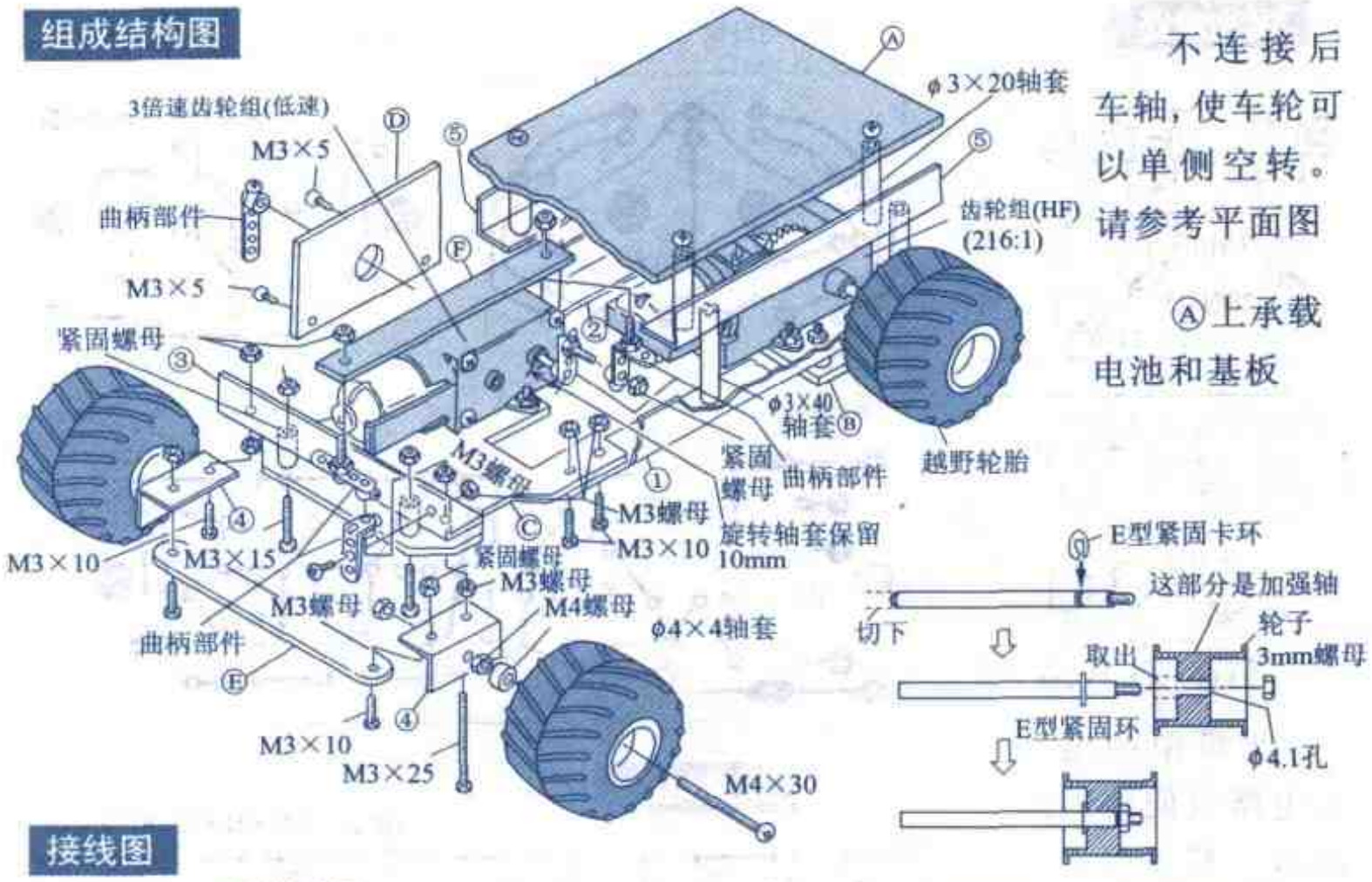
	型　号	形　状	特点	方向适应性
接收元件	TPS603	E C　E C	波长 700nm	宽
	TPS601	E C　E C	800nm	窄
红外发光元件	TLN103	A K　A K	输出弱	宽
	TLN110	A K　A K	强	宽
	TLN101	A K　A K	强	窄

传感器电路板置于车体前，LED等置于其旁边。请参考实体图。



TPS603 TLN110

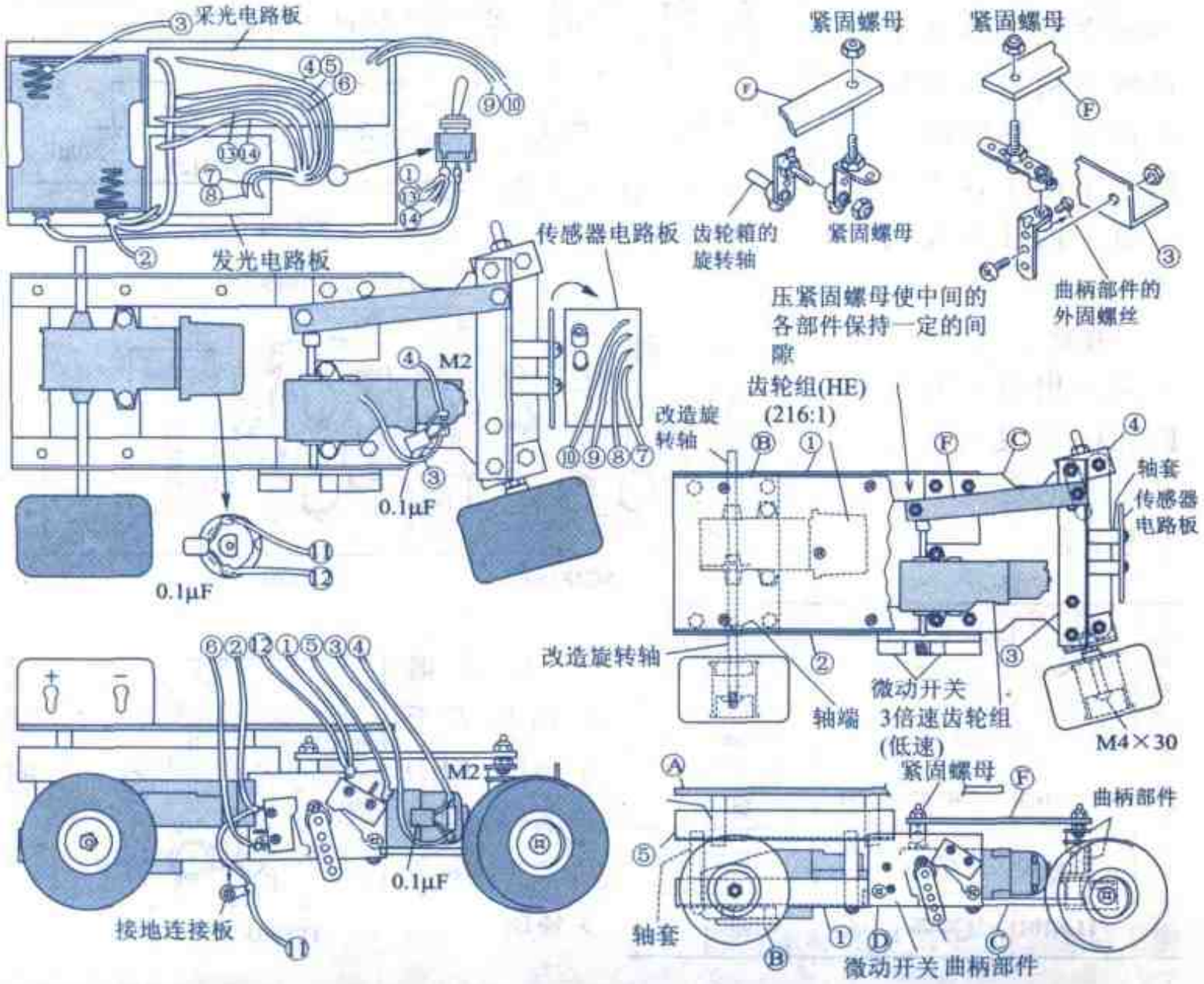
组成结构图



不连接后车轴，使车轮可以单侧空转。请参考平面图

Ⓐ上承载电池和基板

接线图



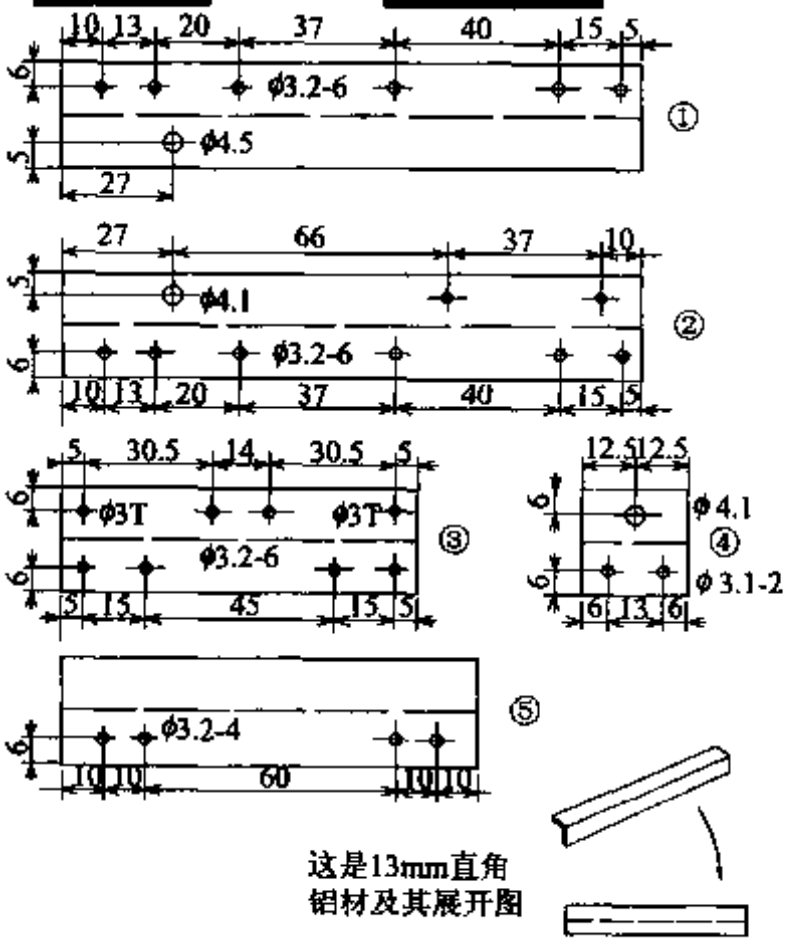
自动转向车的部件和结构材料图

部件表

No	部　件	规　格	数量	No	部　件	规　格	数量
1	齿轮	HE齿轮箱	1			1MΩ	各 1
		(含电动机 田宫)				1kΩ	2
		变速齿轮箱	1			47kΩ	4
		(含电动机 田宫)		16	电容器	0.01μF	3
2	轮胎	车胎(含轮子)	2 组			0.1μF	5
3	电池	UM-2 锰电池	2	17	电解电容器	4.7μF 16V	1
4	电池盒	UM-2 2 节用	1			220μF 16V	1
5	直角铝材	13L	参照图	18	塑料轴套	10mm 15mm	各 2
6	塑料板	3mm 亮灰色	参照图			3mm 5mm	各 4
7	晶体管	2SC1815(东芝)	6			20mm 30mm	各 4
		2SC2120(东芝)	2	19	螺丝	M2×10 M3×15	各 4
8	光电晶体管	TPS603(东芝)	1			M3×20	4
9	红外 LED	TLN110(东芝)	1			M3×4 M3×4	各 4
10	二极管	IS1588(东芝)	2			M3×5	6
11	继电器	HB1E-DC3V(松下)	1			M3×10	10
12	微动开关	AH3246(松下)	2			M3×15	2
13	电路板	三种	参照图			M3×30	1
14	开关	HS-500A(MIYAMA)	1	20	螺母	M3 12 M3 紧固螺母	4
15	电阻	5Ω 100Ω 300Ω 2kΩ	各 1	21	接地连接板	φ3	1
		3kΩ 20kΩ 470kΩ	各 1	22	导线、束线带		少量

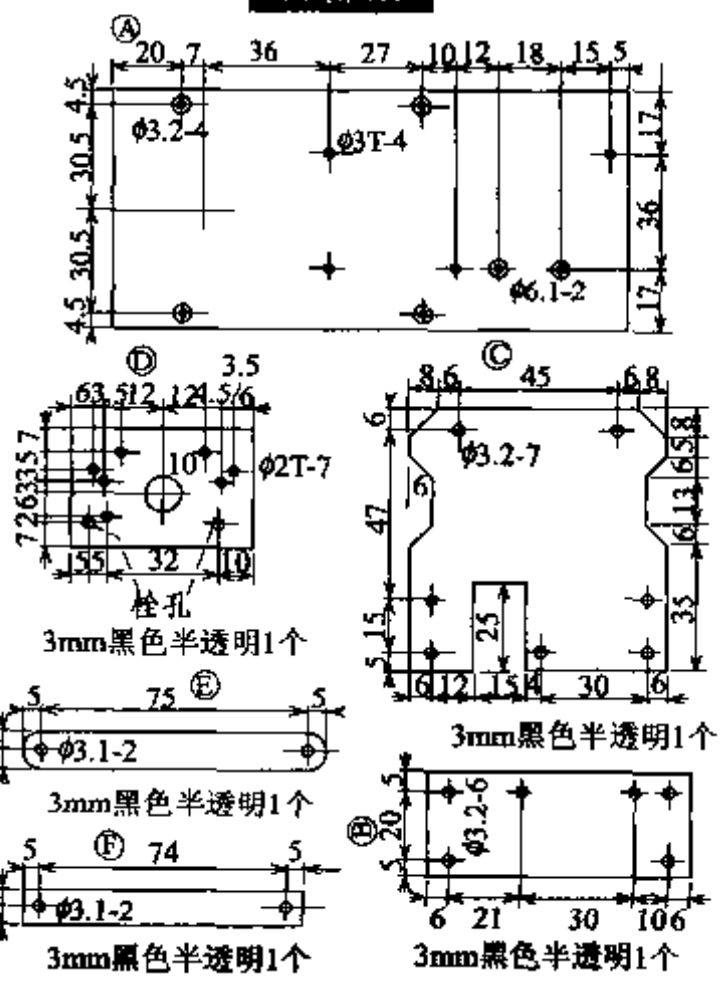
材料图

直角铝材



这是13mm直角铝材及其展开图

丙稀板



3mm黑色半透明1个

3mm黑色半透明1个

3mm黑色半透明1个

3mm黑色半透明1个

3mm黑色半透明1个

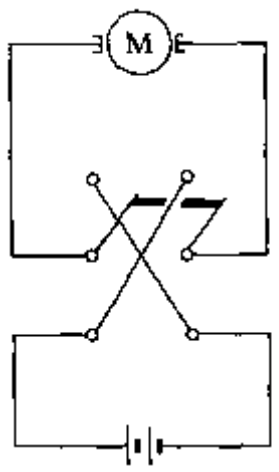
红外遥控器的实体图

红外遥控器(A)

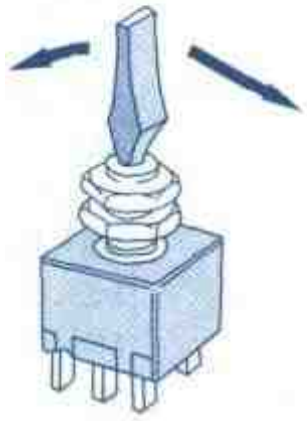
遥控器内安装有 4 路配线。由于只有电源是公用的,因此,这些配线全部都要连接到开关上。开关是双刀双触点型的,平常停在悬空位置上,只有在向下扳时电动机正转、向上推时反转。插座、开关的配线请参考实体配线图。

No.	部 件	规 格	数量
1	箱体	SS-125(TAKAQI)	1
2	扳动开关	MS-500J(MIYAMA)	4
3	连接器	PCN6-10S-2.5DS	1
		PCN6A-10P-2.5E	2
4	扁线	内含 10 根线 10cm 和 1.5m	

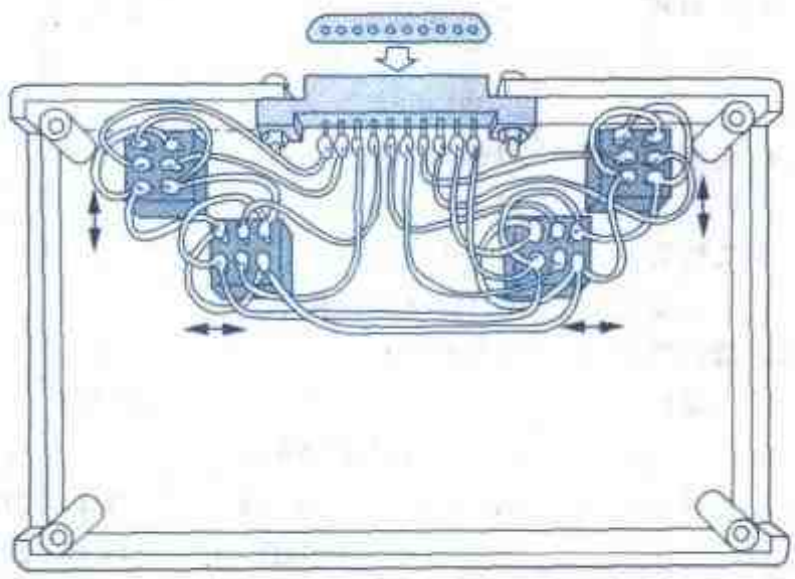
基本电路



平常位于中间



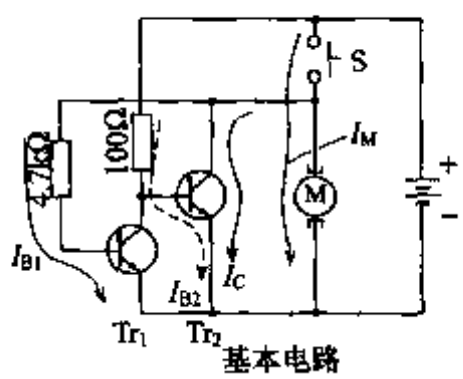
扳动开关MS-500J



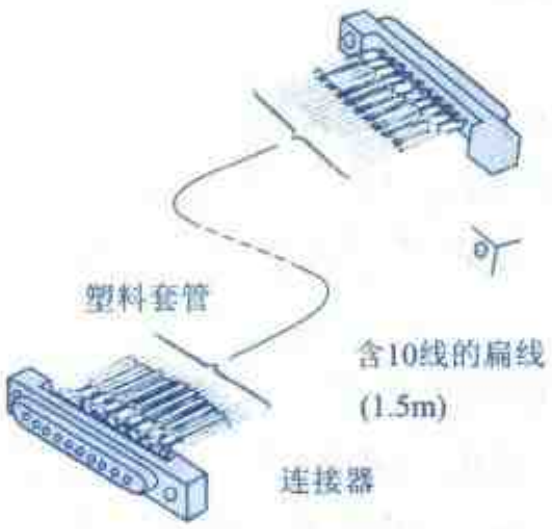
红外遥控器(B)

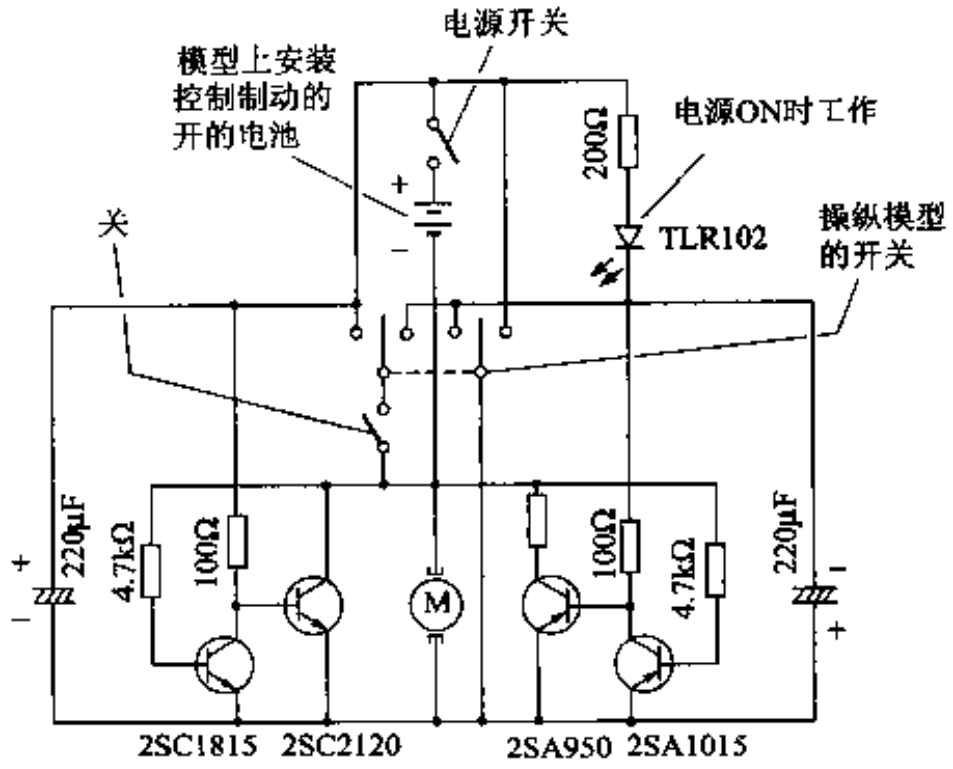
在模型制作说明中曾经介绍过,当电动机开关为 OFF 时,由于电动机的惯性作用将会使电动机继续旋转,正是这种旋转造成模型停止位置不准确。由于此时因惯性旋转的电动机变成了一种发电机,在这种状态下将端子之间短路就相当于突然加上大负载,故可使因惯性而造成的旋转立即停下来。

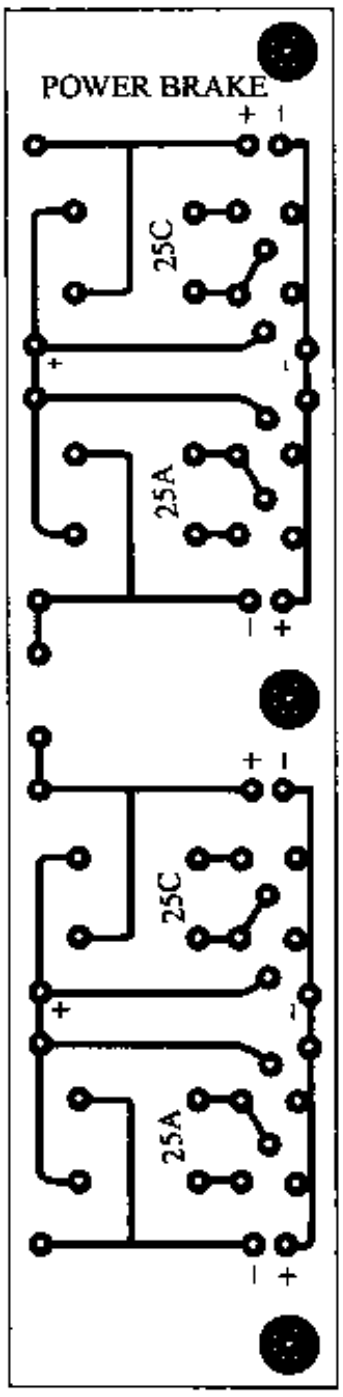
No	部 件	规 格	数量
1	箱体	SS-125(TAKAQI)	1
2	扳动开关	MS-500J(MIYAMA)	4
3	连接器	PCN6-10S-2.5DS	1
		PCN6A-10P-2.5E	2
4	扁线	内含 10 根线 10cm 和 1.5m	
5	开关	MS-24L244(MIYAMA)	1
		MS-500A(MIYAMA)	1
6	电路板	一种	1
7	晶体管(东芝)	2SC1815	2
		2SC2120	2
		2SA1015 2SC 950	各 2
8	LED	TLR102	1
9	电阻	100Ω 4.7kΩ	各 4
		200Ω	1
10	电解电容器	220μF 16V	4
11	自功螺丝	φ3×5	3
12	配线材料		少量



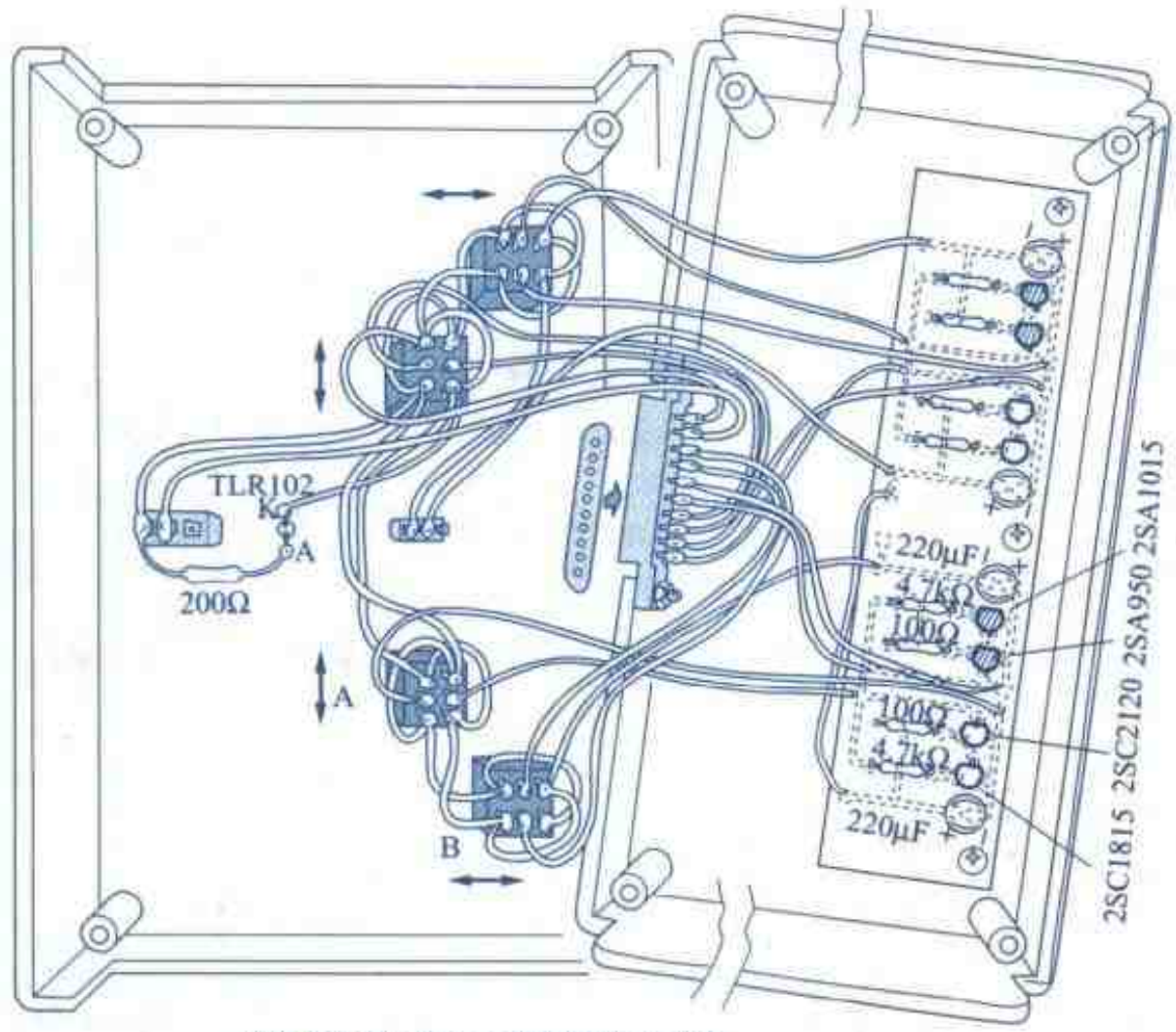
基本电路







实体图是习字机器人用的配线,用于其他机器人要改换A和B两处的配线。



电路板中要配置2个电路图中的电路

在开关中没有为此特意设置接点，而是采用电吸收方式令电动机停止转动。当按下 S 开关后，由于流过 I_M 电流而使电动机旋转，同时由于流过 I_{B1} 使 Tr_1 呈 ON 状态，而 Tr_2 无基极电流流过呈 OFF 状态。因此，虽然它们与电动机连在一起但并不妨碍电动机的运转。

接下来，当 S 开关为 OFF 时，I_M 与 I_{B1} 消失，由于 Tr_2 中流过电流 I_{B2}，因此 Tr_2 呈 ON 状态。因此，M 因惯性旋转发出的电能因被 Tr_2 快速吸收而使电动机立即停转。这里，为了消除电动机的惯性旋转而采用了由 2SA 晶体管组成的电路。

此外，由于采用单电源供电，在 S 开关为 OFF 的瞬间不能产生晶体管电路中的 I_{B2}，因此要由电解电容充电来提供 I_{B2}。由于此电路中设有 ON-OFF 制动开关，停车的准确性得到了改善，请大家自己比较一下，看看它的实际效果。

[General Information]
书名=book_11119013
作者=
页数=194
SS号=11119013
出版日期=

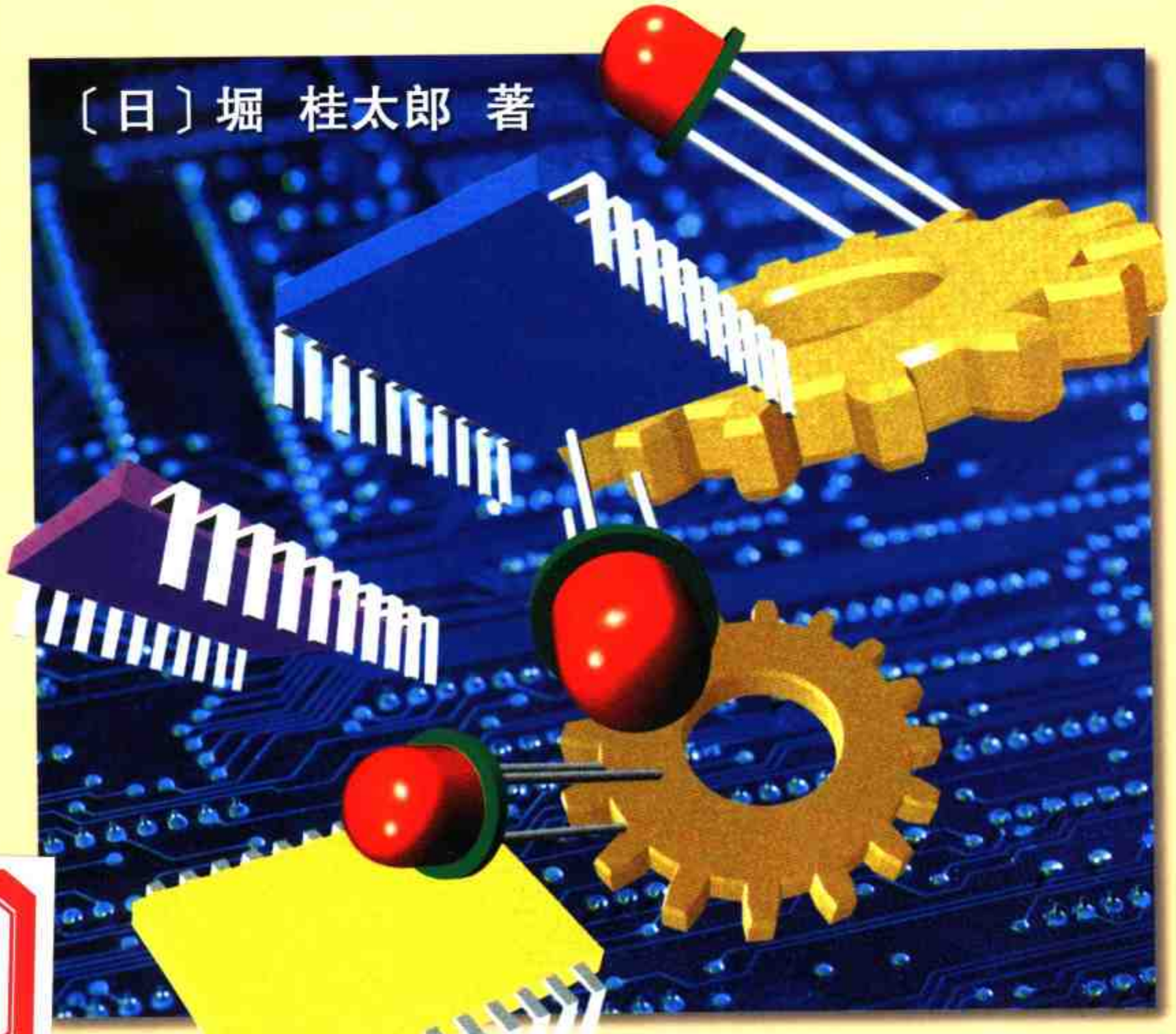
封面
书名
版权
前言
目录
目　　录

第一部分　　电子电路初学者教室
第 1 章电子电路的基础知识
1 半导体的性质
2　 p n 结和二极管
3 晶体管的工作原理
4 晶体管和放大作用
5 放大电路的基本原理
6 偏置的思想与具体电路
7 增益与交流负载线
8 小信号放大电路
9 负反馈放大电路
１０功率放大电路的思考方法
１１　　高效功率放大电路
１２　　ＦＥＴ放大电路
第 2 章各种电子电路的基础知识
1 电源电路的思考方法
2 稳压电源电路
3 振荡电路的组成
4 晶振及其用途
5 晶闸管的运用
6 多谐振荡器
7 自制报警装置
8 利用电子电路进行光控
9 最基本的数字电路
１０　ＩＣ讲座（Ⅰ）
１１　ＩＣ讲座（Ⅱ）
１２　ＩＣ讲座（Ⅲ）
第二部分　　微型机器人手工制作入门
第 1 章工作入门的心得笔记
1 电路的构成
2 塑料（丙稀树脂）材料的加工
3 印制电路板的制作
第 2 章机器人手工制作手册
1　　可以拐直角的线条跟踪器
2 可以上下左右跟踪光线的跟踪机器人
3 能运载软硬物品的工作机器人
4 可用于各种机器人大赛的铲车
5 躲避阴影的向阳车
6 能写字的习字机器人
7 能攀壁行走的自动转向车

OHM 电子爱好者读物

数字电路入门

〔日〕堀 桂太郎 著



9
31
2

科学出版社
www.sciencep.com

(TN-0439.0101)
责任编辑　崔炳哲
责任制作　魏　谨
责任印制　刘士平
封面设计　李　力

◇◇◇◇◇◇◇ 内　容　简　介 ◇◇◇◇◇◇◇

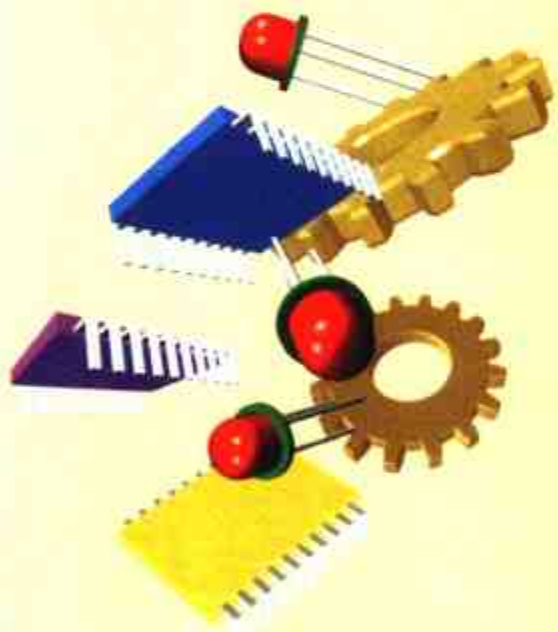
“OHM电子爱好者读物”系列共有6本，涉及电子电路、电子机械、电子控制、数字电路、机电一体化、电子技术等。本系列以初学者为对象，以实用技术为重点，利用丰富的插图，甚至建立模拟教室以对话的形式、通俗易懂地介绍相关内容。阅读本系列的读者最好边学习边实践，以使所学知识变成自己有用的技能。

本书是“OHM电子爱好者读物”之一，共6章组成：数字电路的基础知识、数字集成电路、运算电路、脉冲电路、存储器电路、计数器电路等。书中采用老师和学生对话的方式讲解相关内容，如同在课堂里师生共同学习，提高读者的学习乐趣，并且每章末都附有实践部分和挑战题，检验读者的理解程度。

本书适合作为职业技术类教材，亦可作为企业技术人员的初级培训用教材。

OHM 电子爱好者读物

电子电路入门
数字电路入门
电子机械入门
电子电路与电子技术入门
电子控制入门
机电一体化入门



ISBN 7-03-011019-6
9 787030 110190 >

ISBN 7-03-011019-6
定　价: 20.00 元

OHM电子爱好者读物

数字电路入门

〔日〕堀　桂太郎　著
何希才　译

科学出版社
北京

图字：01-2003-0408 号

Original Japanese language edition
Hajimete Manabu Digital Kairo Nyumon Beginner
By Keitarou Hori
Copyright © 1998 by Keitarou Hori
Published by Ohmsha, Ltd.
This Chinese version published by Science Press, Beijing
Under license from Ohmsha, Ltd.
Copyright © 2003
All rights reserved

初めて学ぶ
ディジタル回路入門ビギナー教室
堀　桂太郎　オーム社　1998

图书在版编目(CIP)数据

数字电路入门/(日)堀　桂太郎著;何希才译. --北京:科学出版社,2003
(OHM电子爱好者读物)

ISBN 7-03-011019-6

Ⅰ.数…　Ⅱ.①堀…②何…　Ⅲ.数字电路-基本知识　Ⅳ.TN79

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第104935号

责任编辑　崔炳哲　　**责任制作**　魏　谨
责任印制　刘士平　　**封面设计**　李　力

科学出版社　出版
北京东黄城根北街16号　邮政编码:100717
http://www.sciencep.com

源海印刷有限责任公司　印刷
北京东方科龙图文有限公司　制作
http://www.okbook.com.cn
科学出版社发行　各地新华书店经销

2003年5月第　一　版　开本:B5(720×1000)
2003年5月第一次印刷　印张:12 1/4
印数:1—5 000　字数:198 000

定　价:20.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

著者简介

堀　桂太郎

国立明石工业高等专科学校电气信息工学科副教授、工学博士

主要著作

《初めて学ぶC言語マスターブック》

《初めて学ぶ Visual Basic 入門早わかり》

《初めて学ぶ Java 入門早わかり》

以上由オーム社出版

本书著作权和专有出版权受到《中华人民共和国著作权法》的保护。凡对本书的一部分或全部进行转载，或用复印机进行复制或在其他场合引用，以及录入电子设备等行为，均属侵害著作权，构成违法。

本书如需复制、引用、转载、改编时，必须得到版权所有者的许可。

如有任何疑问请与以下部门联系。联系时请尽量使用信函或传真形式。

科学出版社总编部

电话：010－64012994　　传真：010－64019810

读者服务部：010－64017892　010－64000246

邮政编码：100717　　地址：北京市东黄城根北街 16 号

http://www.sciencep.com

北京东方科龙图文有限公司

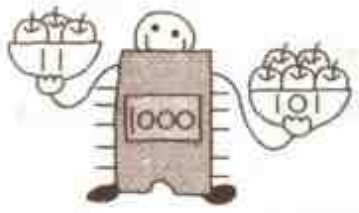
编辑部电话：010－82857401

促销部电话：010－82843276 转 219，220　　传真：010－82842304

邮政编码：100029　　地址：北京市朝阳区华严北里 11 号楼 3 层

http://www.okbook.com.cn

目　录



第 1 章　数字电路的基础理论　1



1. 数字方式与模拟方式 …… 2
2. 二进制数 …… 7
3. 基本门电路(1) …… 13
4. 基本门电路(2) …… 18
5. 逻辑函数表达式 …… 23
6. 文氏(Venn)图 …… 28
7. 卡诺图 …… 33
8. 逻辑电路的设计 …… 38
9. 实　践 …… 44

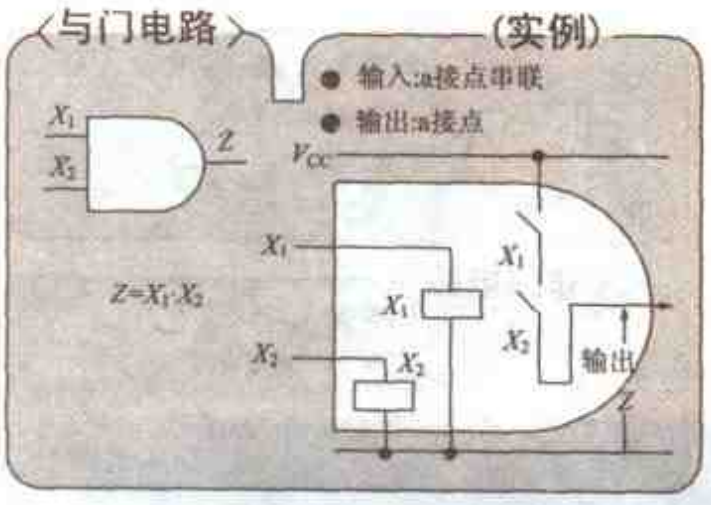
Q 挑战题 …… 49

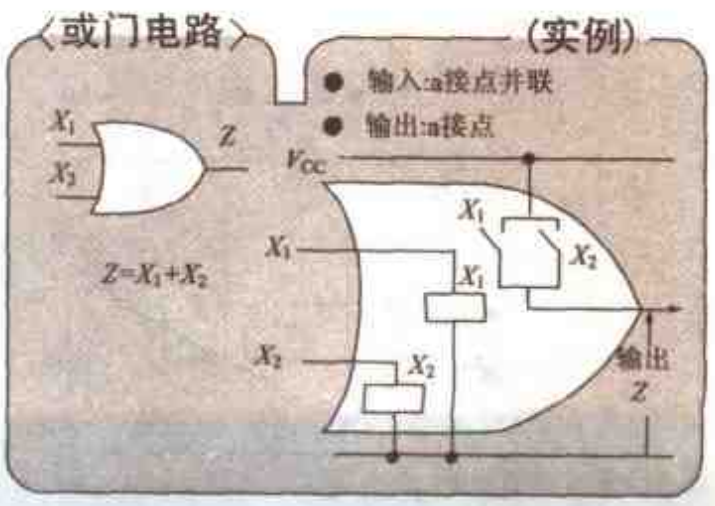
第 2 章　数字集成电路　51



1. TTL 与 C-MOS …… 52
2. 使用集成电路注意事项(1) …… 57
3. 使用集成电路注意事项(2) …… 62
4. 接口功能 …… 67
5. 规格表的使用 …… 72
6. 实　践 …… 77

Q 挑战题 …… 82





第 3 章 运算电路 83



1. 加法电路 …… 84
2. 减法电路 …… 89
3. 乘法和除法电路 …… 94
4. 编码器与译码器 …… 99
5. 多路复用器和反多路复用器 …… 104
6. 实　践 …… 109
Q 挑战题 …… 115

第 4 章 脉冲电路 116



1. 多谐振荡器(1) …… 117
2. 多谐振荡器(2) …… 122
3. 施密特触发器 …… 127
4. 实　践 …… 132
Q 挑战题 …… 137

第 5 章 存储器电路 138

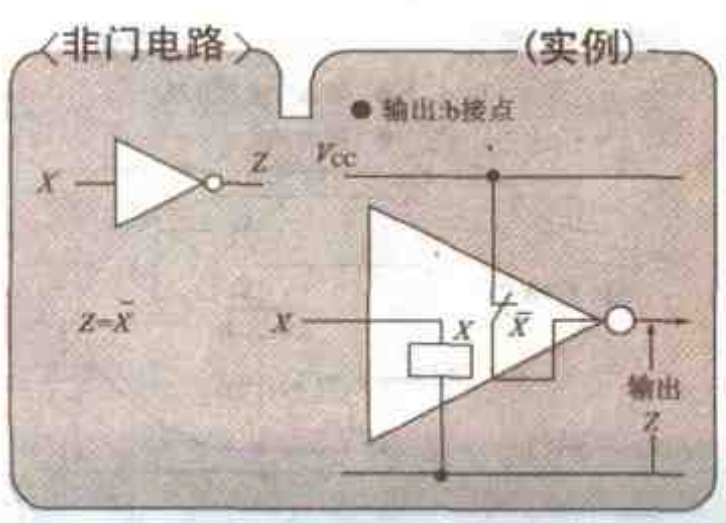


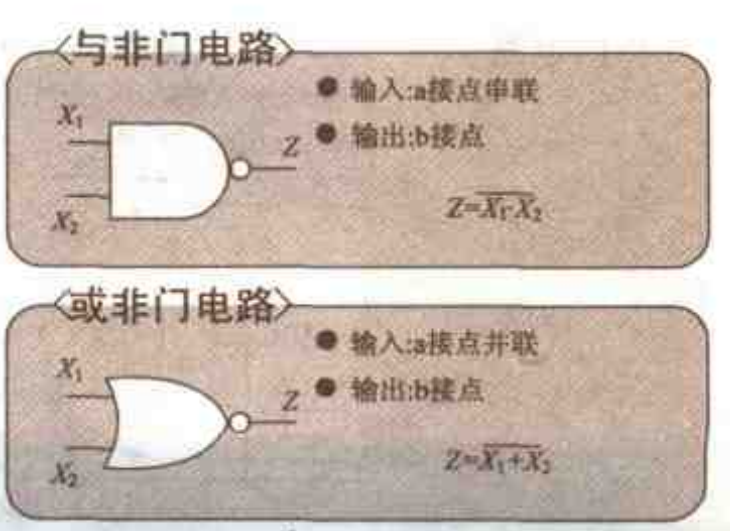
1. RS 触发器 …… 139
2. 各种类型的触发器 …… 144
3. 移位寄存器 …… 149
4. 实　践 …… 154
Q 挑战题 …… 160

第 6 章 计数器电路 161



1. 计数器结构 …… 162
2. 异步 n 进制计数器 …… 167
3. 同步 n 进制计数器 …… 172
4. 各种计数器 …… 177
5. 实　践 …… 182
Q 挑战题 …… 187





第1章

数字电路的基础理论



博士



小明



小丽

本章学习目的

学习数字电路有应掌握的最基本的基础理论,若跳过它,从各种最基本的电路开始学习,这当然也是一种学习方法。然而,需要对书中提供的电路稍加修改,或者如果电路不按预定方式工作时,就要用到基础理论方面的知识。

对于功能相同的电路,可以考虑用几种方案来实现。这时,若有扎实的基础理论,就可以选用最简单并最经济的电路。

数字电路的基础理论乍看起来是那么复杂,若跳过它学习电路,开始虽能学到一些关于电路方面的知识,但终究还要回过头来学习基础理论。

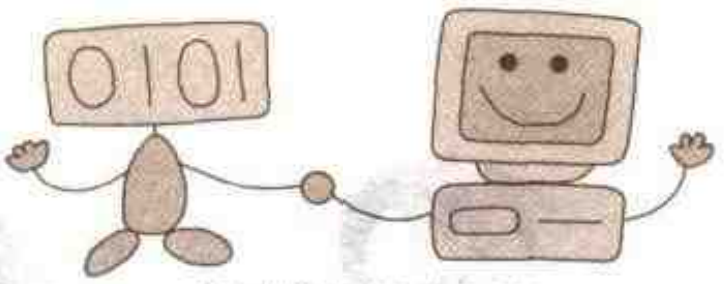
学习数字电路的理论基础重要的是理解二进制数、真值表和逻辑函数表达式,还要搞清楚有关逻辑函数表达式的一些知识,如德·摩根定律和卡诺图等。

数字电路中有意思非常清楚的0或1,换句话说,若遵守一定规则,0或1都有明确的意思。

本章简单介绍学习数字电路必要的基础理论。学习理论与数学表达式是非常棘手的!但不用担心,小明和小丽会帮助你轻松上阵,一起开始学习吧。

1 数字方式与模拟方式

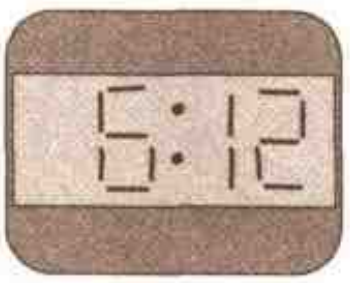
充分了解数字方式的优点



当今世界将进入数字时代

数字钟表与模拟钟表

博士　你的手表是数字式还是模拟式？



数字钟表



模拟钟表

小明　我的手表是数字式。



小丽　我的手表是模拟式。



博士　用数字直接显示时间的是数字式，而用指针指定时间的是模拟式。那么，若要知道现在的时间是几点几分，请看数字钟表和模拟钟表显示的状态。

小明　我的数字表显示现在的时间是 6 点 12 分。

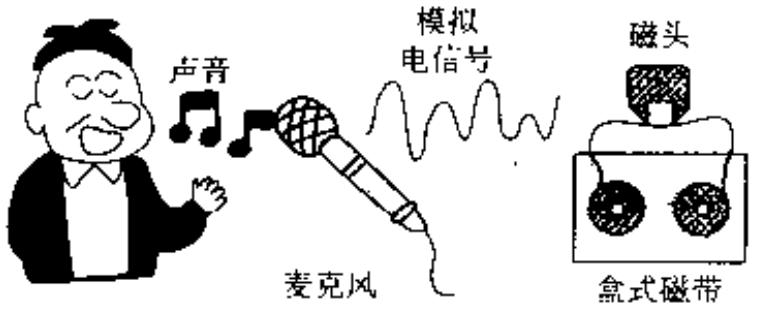
小丽　我的模拟表指示现在的时间是 6 点 12 分与 13 分之间。

博士　数字钟表先显示 6 点 12 分，后显示 6 点 13 分，没有中间状态。此例中，所谓数字式是断续跳跃式显示时间，而模拟式是连续指示时间。

盒式磁带和光盘

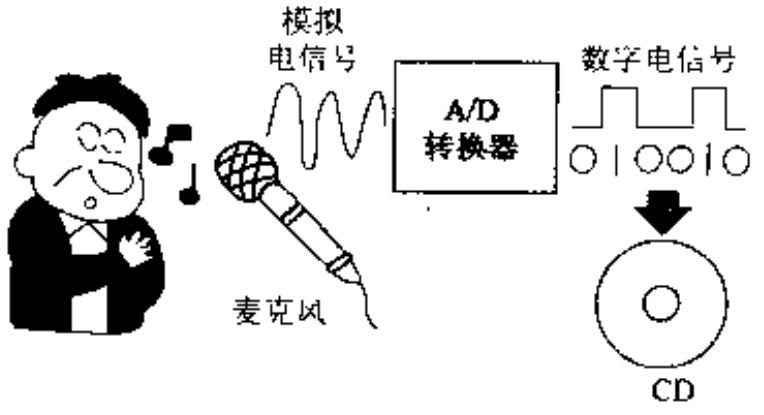
博士　现看一下在盒式磁带中录制的音乐。

歌手的歌声变成在空气中传播的模拟信号。该歌声通过麦克风变换为模拟电信号，再经过磁头录制到盒式磁带上。

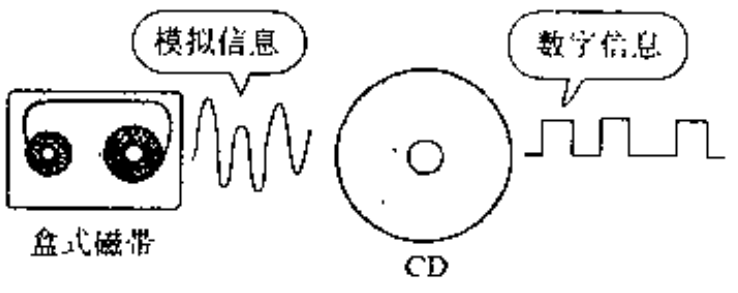


小明 也就是说，音乐以模拟的形式把信息记录在盒式磁带上。

博士 是的，昔日的录音机也是这样。现看一下光盘 CD 的情况，在歌手的歌声通过麦克风变换为模拟电信号之前的过程与上述一样，而 CD 是要将该模拟信号变换为数字信号（仅由 0 与 1 组成的信号）后再记录到 CD 上。



也就是说，音乐以数字形式的信息被记录在 CD 上。



所谓数字信号仅是由 0 与 1 两种数据组成的信号。

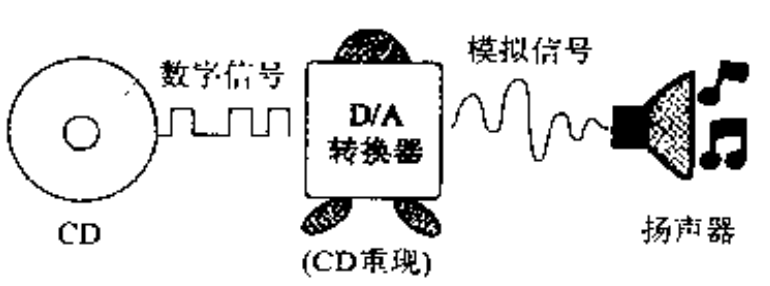
小丽 模拟信号能变换为数字信号吗？

博士 能，模拟信号变换为数字信号的电路称为 A/D 转换器，而数字信号变换为模拟信号的电路称为 D/A 转换器，现有各式各样的电路方案。

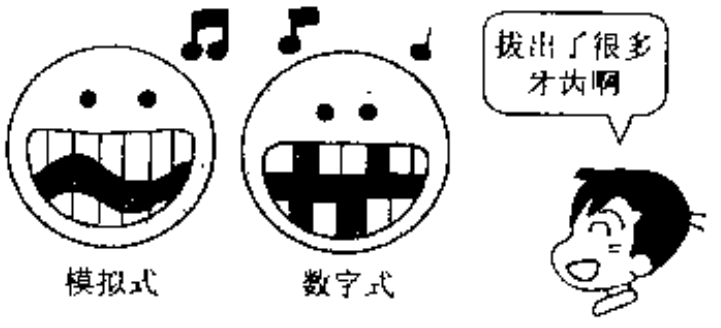




音乐记录到 CD 上时，使用 A/D 转换器，反之，将记录在 CD 上的音乐重现时使用 D/A 转换器。

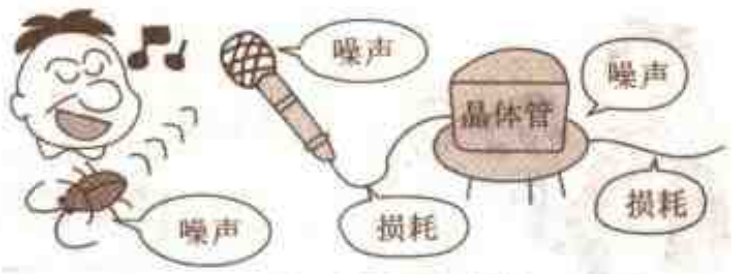


小明 歌手的歌声原来是连续的模拟信号，若将它变换为 0 与 1 组成的断续数字信号，能否将最初的平滑声音数据变换为完整的形式呢？



博士 这不用担心，模拟信号变换为数字信号，完全能重现原来的数据，这有理论根据，即采样定理。





噪声和损耗到处都有

小明 数字方式与模拟方式有哪些不同呢？各有哪些优缺点呢？

博士 两种方式各有所长，例如，音乐以模拟信号记录在盒式磁带上，录音与放音的电路简单，但音质不如数字方式。



反之，音乐以数字信号记录在 CD 上，放音时需要 D/A 转换器等，电路复杂，但与模拟方式相比，可以欣赏到高品质的音乐。

小明 为什么数字方式的音质好呢？

博士 现说一下数字方式的优点。

经常听到噪声的术语，人们周围到处都有噪声。用麦克风将声音信号变换为模拟电信号时，周围有微弱的噪声，例如，身体动作的声音及空气流动的声音等，完全避开是不可能的。还有，麦克风本身以及放大电信号的晶体管内部都会产生噪声。

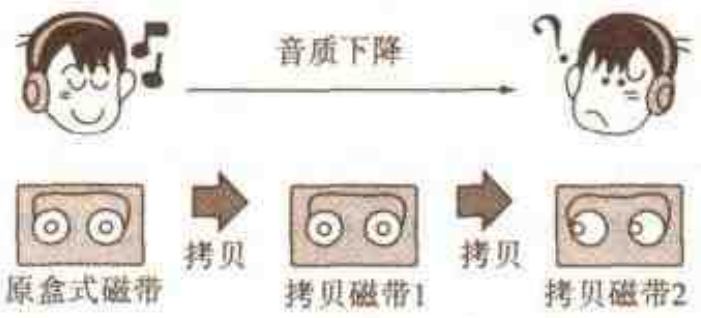
由于这些噪声的影响，原来的信号失去了本来面目。另外，信号在电路中传播时，导线的电阻减弱了传播的信号，这称之为损耗。尤其模拟信号容易受到噪声与损耗的影响。



然而，对于 0 与 1 组成的数字信号，受噪声与损耗的影响，无非是 0 信号变为 1，或 1 信号变为 0，无关紧要，也就是说，与模拟信号相比，数字信号对噪声与损耗的影响有较强的承受能力。



小明 音乐盒式磁带若连续经过多次拷贝，音质逐渐下降，这就是噪声与损耗影响所致。



小明 然而，数字方式的信息经过多次拷贝，也不会改变原来的音质。

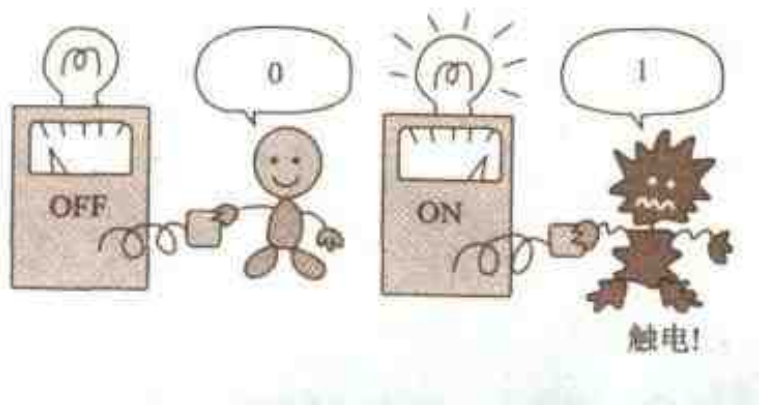


计算机与数字信号

博士 计算机进行信息处理时使用数字信号。数字信号领域中只有0与1两种形式的信号。



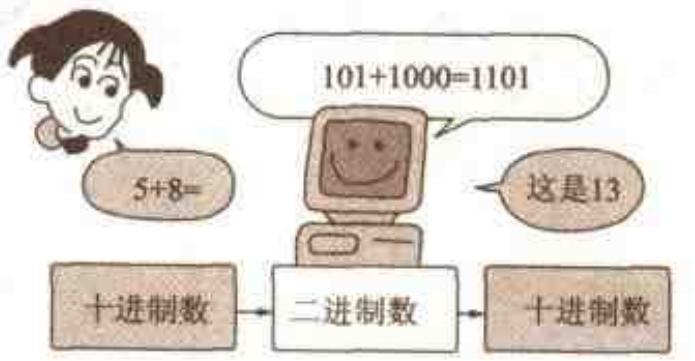
无电压的状态是0，有电压的状态是1，由此区分这两种状态。



人们日常生活中使用“0，1，2，3，4，5，6，7，8，9”十个数字，称为十进制数。而在数字领域，使用“0，1”两个数字，称为二进制数。计算机使用二进制数进行信息处理。

小丽 在只有0与1的数字领域里，为什么能进行普通的计算呢？例如，5＋8＝13。

小丽 计算机只能进行二进制数的计算，因此，输入十进制的数据要变换为二进制数，然后再进行计算，最后将计算结果变换为十进制数并输出。



小明 唉！真麻烦。

不能原样进行十进制的计算吗？

如果只是区别电压的有无状态，就是二进制，但若令无电压的状态为0，电压1V的状态为1，电压2V的状态为2，以下同样，电压9V的状态为9，以此也可构成十进制数。

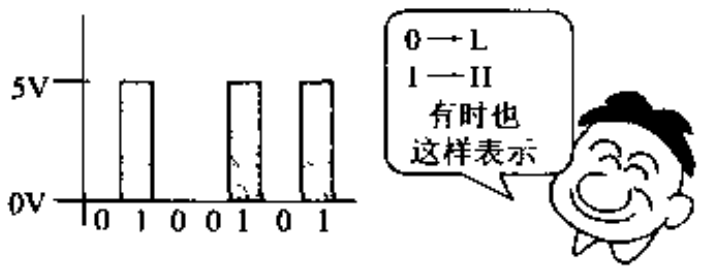
0	0V	5	5V
1	1V	6	6V
2	2V	7	7V
3	3V	8	8V
4	4V	9	9V



博士 想法不错。道理上讲小明的想法确是对的，但是，各状态只差

1V，由于噪声与损耗的影响，准确稳定地区分这十种状态是不可能的。因此，有人会提出将各状态的电压差值增大，不就可以对高电压进行处理了吗？但这样不能构成实用的电路。另外，区分十种状态的电路比区分两种状态的电路要复杂得多。

据此理由，在数字领域只能采用 0 与 1 的二进制数。在通常的电路中，电压 0V 的状态设为 0(或低电平 L)，电压 5V 的状态设为 1(或高电平 H)。



练习题

问题 1 数字信号与模拟信号有哪些不同？

问题 2 计算机软盘上记录的数据经过多次拷贝，仍然不变质，忠实地保持原状态，原因何在？

解答

1. 数字信号是 0 与 1 的断续信号，而模拟信号是多值的连续信号。

2. 软盘上的数据是数字信号，抗噪声与损耗的能力强。

2 二进制数



二进制数表示法

博士 若二进制数计作 0,1,加上 1 再进位就变成 10 的数法。这时,10 不能读作“十”,若读作“十”就是 10 进制数的十。二进制数应读作“一,零”。

小明 只知道读法,见到数字还不能区分是几进制数。

博士 为了知道是几进制数,采用以下规则:

$(1011)_2$ ← 表示二进制数

$(127)_{16}$ ← 表示十六进制数

1011 ← 表示十进制数

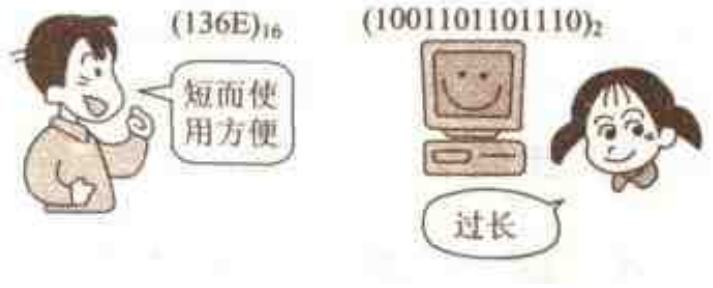
1011B ← 因为,二进制数英文为 Binary,所以,数字后面加上首字母 B。

156H ← 表示十六进制数,英文为 Hexadecimal,所以,数字后面加上首字母 H。

二进制数与十六进制数

博士 例如,十进制数 138,转换为二进制数时为 10001010。138 用二进制数表示就这么长,所以,对于更大的数只要用 0 与 1 排列起来即可。当然,二进制数是数字电路中基本数制,人们之间交换信息时,若使用这么长的二进制数非常麻烦,也是出错的主要原因。

另外,用十六进制数可简单地表示长长的二进制数,因此在计算机的电路中也经常采用十六进制数。



小明 二进制数使用 0 与 1 的数字,而十进制数使用 0 到 9 的数字,

那么，十六进制数使用哪些数字呢？

博士　十六进制数需要从 0 开始，0，1，2，3，…等 16 种数字。然而，最高数字只到 9，9 以后的数字可用英文字母代替。

0　5　A
1　6　B
2　7　C
3　8　D
4　9　E



小丽　也就是说，对于十六进制数，F 的后面应是 10，读作“一零”。

博士　是这样！各进制数的对照表如下所示：

十进制数	二进制数	十六进制数
0	0	0
1	1	1
2	10	2
3	11	3
4	100	4
5	101	5
6	110	6
7	111	7
8	1000	8
9	1001	9
10	1010	A
11	1011	B
12	1100	C
13	1101	D
14	1110	E
15	1111	F
16	10000	10
17	10001	11

何谓比特？

小明　比特是什么意思？

博士　比特就是位(bit)的意思。例如，1 比特就是 1 位，因此，可看作是一个方形板。在二进制数字领域只有 0 与 1 两个数字，因此，进入这方形板中的数字要么是 0，要么是 1，也就是说，用 1 比特可表示 2 种形式的信息。



小丽　若是 2 比特，可考虑方形板为 2 个，能表示 4 种形式的信息。

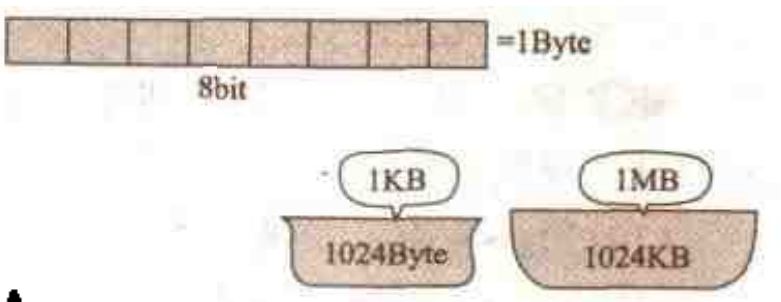
博士　某比特数可表示多少种形式的信息呢？通过下面的计算可知：

$2^{比特}$

(例)3 比特

$2^3=2\times2\times2=8$

另外，8 比特称为 1 字节(Byte)，1024 字节称为 1 千字节(KB)，1024 千字节称为 1 兆字节(MB)。



二进制数的运算

博士　数的表示方法已非常清楚了，这里，练习二进制数的简单运算，先练习加法运算。

问题 1

试做下列二进制数的加法运算：

1011＋1110

解答

```
  1011
+)1110
 11001
  ‾‾‾‾
  进位
```

小明 不习惯，1＋1 习惯上应等于 2；若专心运算，也还算简单。

问题 2

试做下列二进制数的减法运算：

1110－1011

解答

```
   ‾‾ 借位
  1110
-)1011
  0011
```

问题 3

试做下列二进制数的乘法运算：

1110×1011

解答

```
    1110
×)  1011
    1110
   1110
  0000
 1110
10011010
```

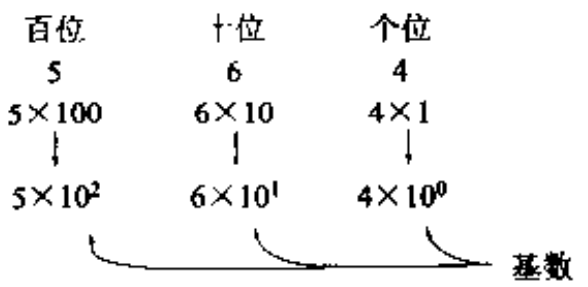
小丽 二进制除法运算与十进制一样。但做加法运算时，要注意进位，否则会出错。

二进制数转换为十进制数

博士 现在学习二进制数转换为十进制数的方法。例如，十进制数 564 可分解为下列那样的表达形式：

$$564 = 5\times10^2 + 6\times10^1 + 4\times10^0$$
$$= 500 \quad + 60 \quad + 4$$

小丽 这里，各位的数字等于 5，6，4 各乘以每位的权。



小明 每位的权是：

个位……10^0

十位……10^1

百位……10^2

博士 是的，因为处理的是十进制数，所以，权的基数是 10。

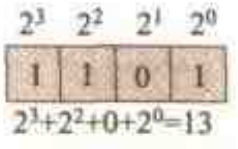
二进制数转换为十进制数时，可以利用这些方法。

现看一下二进制数 1101 转换为十进制数的过程。

小丽 用现在的学习方法，$(1101)_2$ 可表示如下：

$$(1101)_2 = 1\times2^3 + 1\times2^2 + 0 \times2^1 + 1\times2^0$$
$$= 8 + 4 + 0 + 1 = 13$$

即 $(1101)_2 = (13)_{10}$。





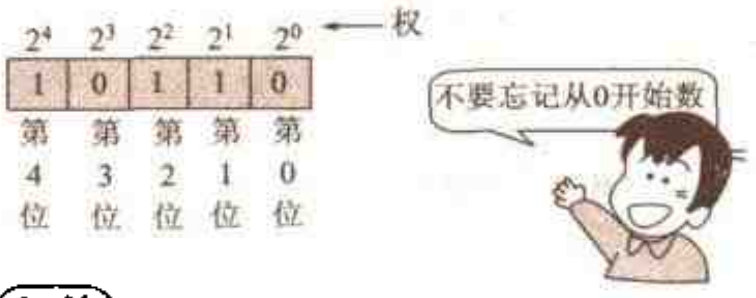
博士 就是这样，用这种方法将二进制数转换为十进制数。请注意权的基数是 2。

问题 4

试将下列二进制数转换为十进制数：

① 10110　② 11011110

小明 5 位二进制数的各位权如下：



解答

① $1\times2^4+0\times2^3+1\times2^2+1\times2^1+0\times2^0=22$

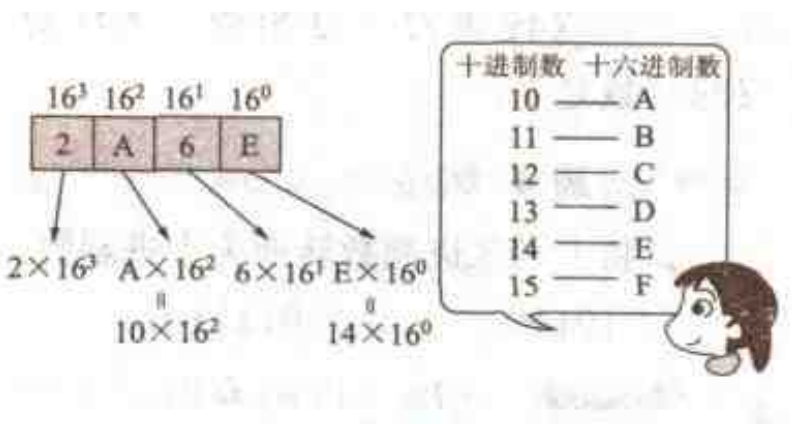
② $1\times2^7+1\times2^6+0\times2^5+1\times2^4+1\times2^3+1\times2^2+1\times2^1+0\times2^0$
$=128+64+16+8+4+2$
$=222$

十六进制数转换为十进制数

小丽　我已经掌握了二进制数转换为十进制数的方法，那么，十六进制数转换为十进制数也能用这种方法吗？

博士　可以这样做。将某数转换为十进制数也可采用同样的方案。只要根据数的不同改变基数即可。例如，将十六进制数 2A6E 转换为十进制数。

$$(2A6E)_{16}=2\times16^3+10\times16^2+6\times16^1+14\times16^0$$
$$=4096+2560+96+14$$
$$=(6766)_{10}$$



十进制数转换为二进制数

博士　现在学习十进制数转换为二进制数的方法。例如，将十进制数 564 转换为二进制数。

采用连除取余法，即用 2 逐次除 564 的商，直到商为 0。这时，余数是 0 或 1，从下向上取出余数并排列即为转换的二进制数。

564 转换为二进制数为 $(1000110100)_2$。



小朗　我也试试看，将十进制数 1029 转换为二进制数。



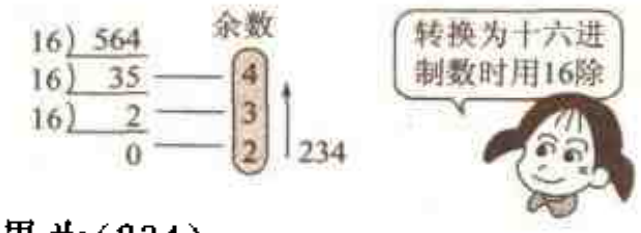
转换结果为 $(10000000101)_2$。

博士　那么，十进制数转换为十六进制数的方法你会吗？

小朗　是的，用 16 除十进制数，直到商为 0，从下向上取出余数即

可。

小丽 试试看。将十进制数564转换为十六进制数。



结果为$(234)_{16}$。

反过来，试将$(234)_{16}$转换为十进制数：

$2\times16^2+3\times16^1+4\times16^0=512+48+4=564$。

二进制数↔十六进制数的转换

博士 现在学习二进制数↔十六进制数的转换。

二进制数能转换为十六进制数吗？

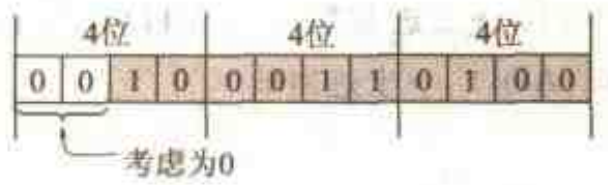
小明 能，可以采用过渡方案，先将二进制数转换为十进制数，再将其转换为十六进制数即可。



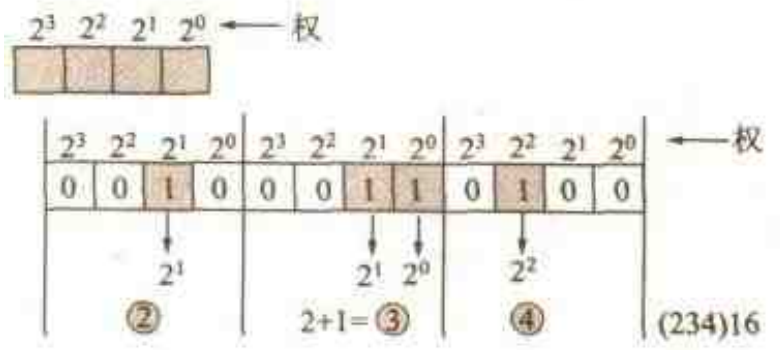
博士 这样做当然可以，但有不经过十进制数转换而采用直接转换的方法。例如，二进制数1000110100，该二进制数共10位。最先权小的位（右侧）称为最低位(LSB)，最先权大的位（左侧）称为最高位(MSB)。



从最低位开始，每4位分为一组。

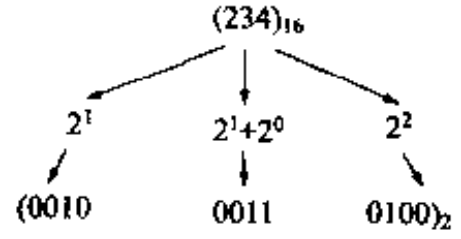


考虑每4位的权如下，即可转换为十六进制数。

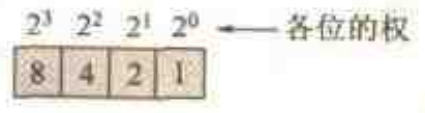


转换结束，结果为$(234)_{16}$。

反之，若将十六进制数转换为二进制数，则先要将十六进制数的各位变为4位的二进制数。



再将4位的权8，4，2，1进行组合就构成二进制数。



博士 这样，二进制数与十六进制数之间的转换就非常简单。

练习题

问题 1　试进行下列各进制数的转换。

① $(281)_{10}$ → 二进制数 ② $(10111)_2$ → 十进制数 ③ $(AD4)_{16}$ → 十进制数

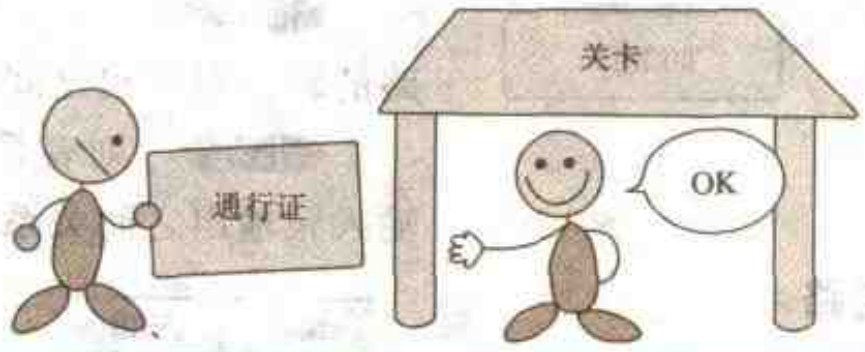
解答

① 100011001　② $2^4+2^2+2^1+2^0=23$

③ $10\times16^2+13\times16^1+4\times16^0=2772$

3 基本门电路(1)

门电路是信号通过的门

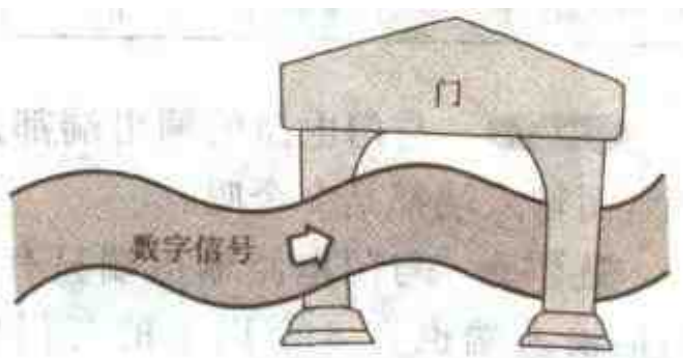


门电路

博士 门电路是构成数字电路的基本单元，它是输出数据由输入数据决定的电路。



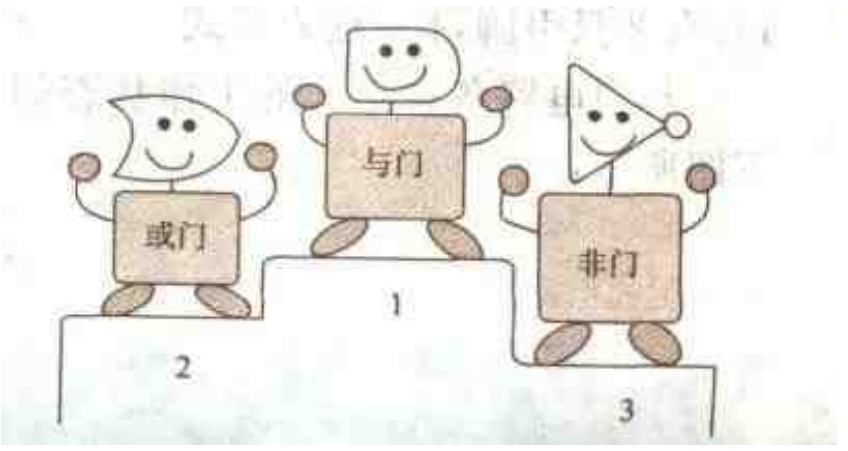
小脑 英文 gate 就是门的意思。门电路是通过数字信号的门，所以这样称呼它。



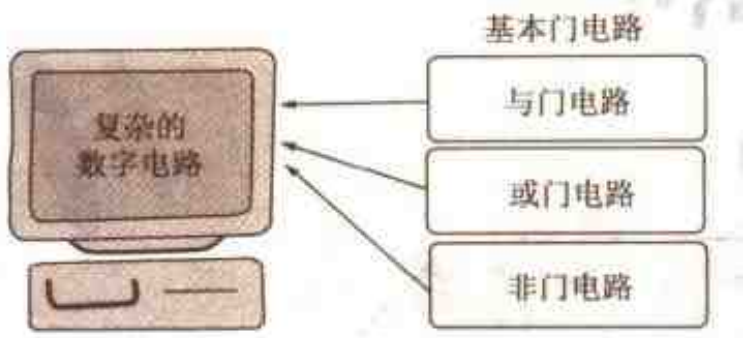
博士 是这样，数字信号不是 0 就是 1。因此，门电路的输出与输入数据不是 0 就是 1。



大家开始学习的门电路是与门(AND)、或门(OR)和非门(NOT)这三种。这些门电路也是构成数字电路的重要单元。

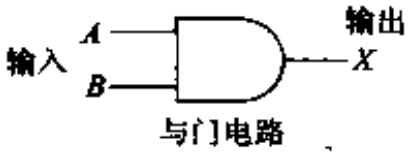


若将非常复杂的数字电路进行细分解，可以看出都是由这三种门电路构成的。

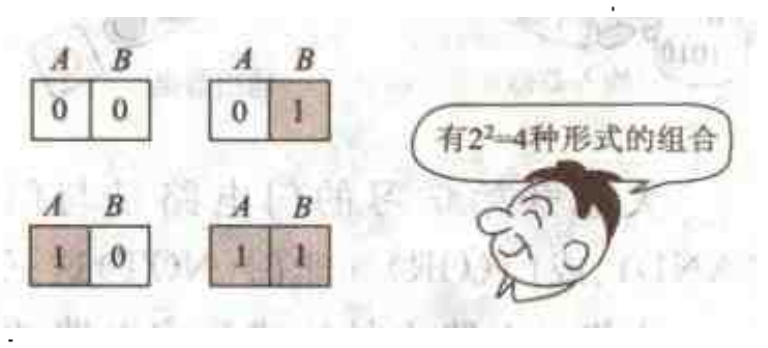


与门(AND)电路

博士　现从与门电路开始学习，与门电路符号如下图所示。

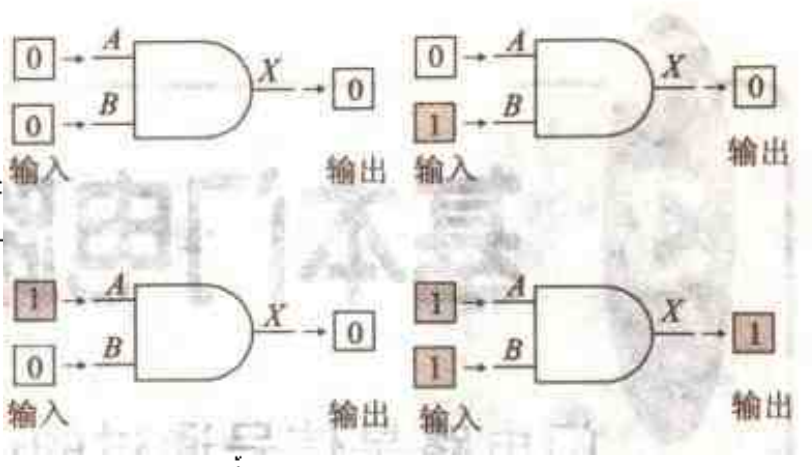


与门电路的输出是两个输入数据相乘的结果。



与门电路处理的数据有两种(0 与 1)，有 2 只引脚，4 种输入形式。

与门电路各种形式的工作状态如下图所示：



博士　小明，你能理解与门电路的输入跟输出之间的关系吗？

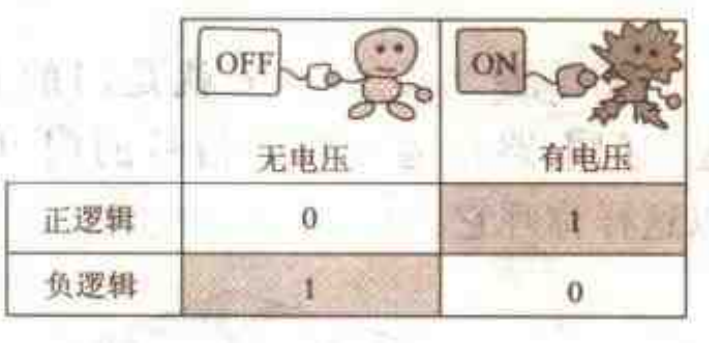
小明　列表看一下与门电路的输入跟输出之间关系。

输入		输出
A	*B*	*X*
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



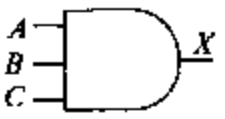
博士　这个表称为真值表，它是理解数字电路工作状态的重要依据。

与实际电路相对应时有两种方式，即无电压时为 0，有电压时为 1 的正逻辑；无电压时为 1，有电压时为 0 的负逻辑。

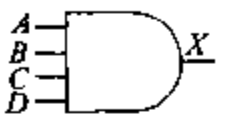


小丽　与门电路的输出端都是 1 个，而输入端都是 2 个吗？

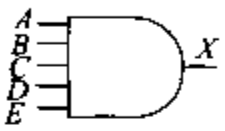
博士　与门电路输出端只有 1 个，但输入端也有 3 个以上的与门电路。



3输入与门



4输入与门



5输入与门

A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

3输入与门的真值表

小明 输入端数目即使增多，但工作状态仍为输出是输入数据相乘的结果。

博士 逻辑与运算也称逻辑积，用逻辑函数表达式可将2输入与门电路的输入跟输出的关系表示为 $X=A\cdot B$。

在开关电路中采用与门电路的例子如下图所示：



开关电路中所有开关都接通(1)时，才有输出电压。

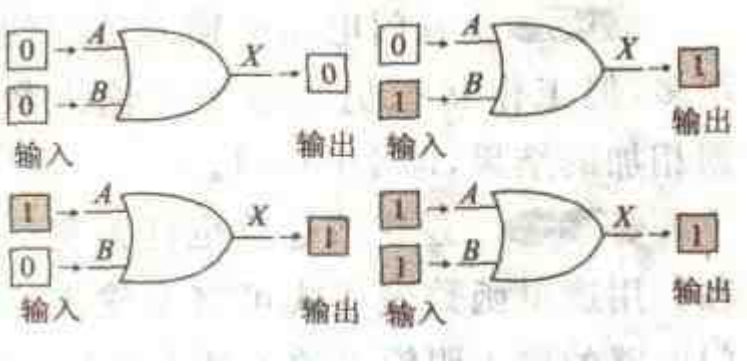
或门(OR)电路

博士 现在看一下或门电路的符号。



或门电路

或门电路的输出是2输入数据相加的结果。



博士 小明，或门电路的输出跟输入之间关系如何呢？

小明 那个嘛，A 和 B 两输入都为1时，输出应是1+1=2吧！

小丽 在数字电路领域，数据要么是0要么是1，2的结果是错的。

博士 数字电路中，认为1+1=1，同理1+1+1=1，应该注意这一点。

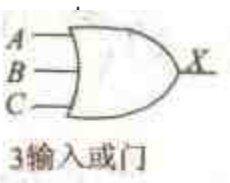
小明 列出或门电路的输入跟输出关系的真值表看看。

输入		输出
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

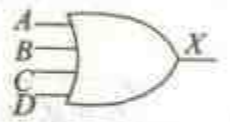
或门电路的真值表



博士 或门电路和与门电路一样，只有1个输出端，但也有有3个以上输入端的门电路。



3输入或门



4输入或门



5输入或门

A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

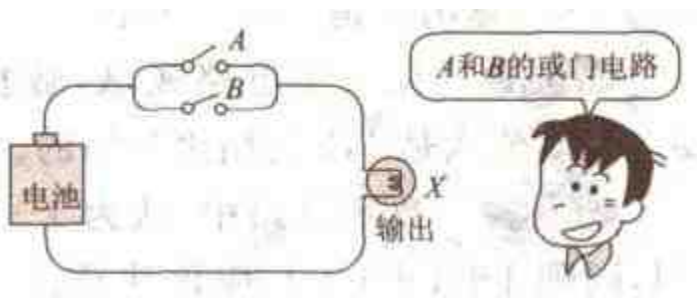
3输入或门的真值表

小明 或门电路的输入端即使增多，但工作状态仍为输出是输入数据相加的结果，即 1＋1＝1。

博士 逻辑或运算也称为逻辑和。用逻辑函数表达式可将 2 输入或门电路的输入跟输出的关系表示为

$X=A+B$。

在开关电路中采用或门电路的例子如图所示：



开关电路中至少有 1 只开关接通(1)时，才有输出电压。

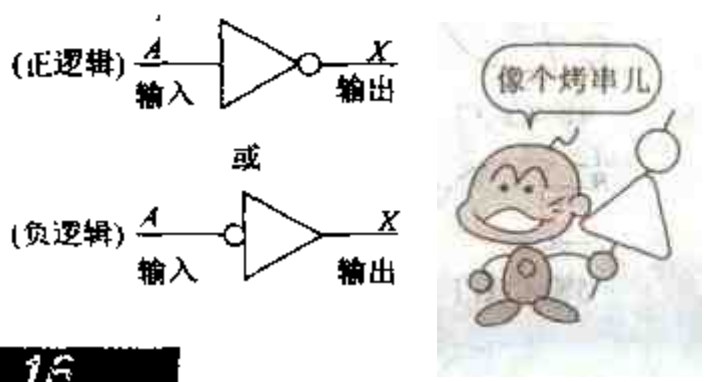
或门电路有时也简称或门。

非门(NOT)电路

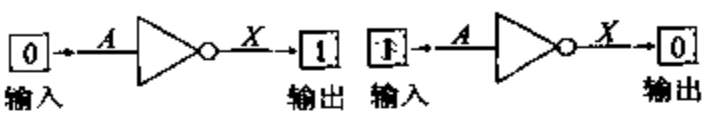
博士 非就是否定，或反相的意思。在只有 0 与 1 的领域中选择其中之一时，若否定 0 就选 1，若否定 1 就选 0。



非门的电路符号如下图所示：



非门电路的输出是输入的反相。非门电路中输入与输出各只有 1 个端子。

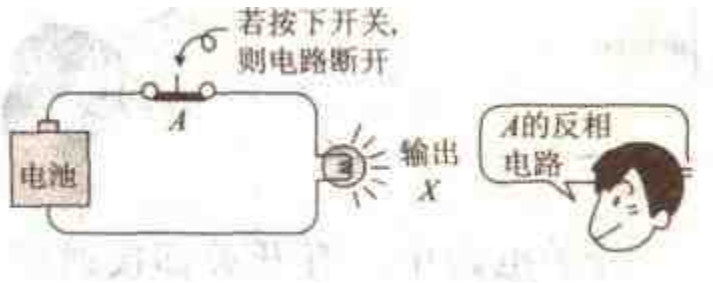


小明 列出非门电路的输入跟输出关系的真值表看看。

输入	输出
A	X
0	1
1	0



博士 逻辑非运算也称为逻辑非。用逻辑函数表达式将非门电路的输入跟输出关系表示为 $X=\overline{A}$。在开关电路中采用非门电路的例子如下图所示：

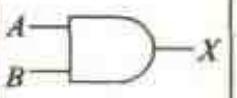
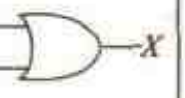
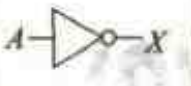


开关电路中将开关按下(1)，没有输出电压。非门电路也称为非门，或称反相器。

三种基本门电路

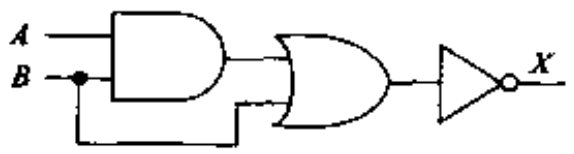
博士 逐个理解了门电路的基本原理，但重要的是进一步提高电路设计能力。

现将学习的三个基本门电路，即与门(AND)电路、或门(OR)电路和非门(NOT)电路进行归纳整理。

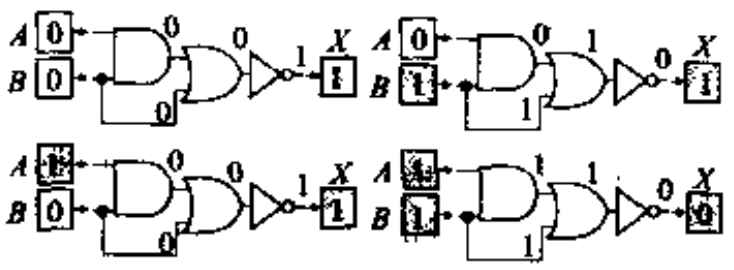
名称	AND (逻辑积)	OR (逻辑和)	NOT (逻辑非)
图形符号			
逻辑函数表达式	$X=A\cdot B$	$X=A+B$	$X=\overline{A}$
真值表	A B X 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1	A B X 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 1	A X 0 1 1 0

(三个基本门电路的归纳整理表)

博士　那么，这里做一道练习题，试列出下列数字电路的真值表：



小明　对各输入求出输出即可。



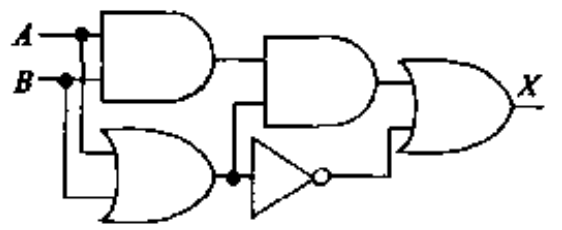
解答



A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

练习题

问题 1　试列出下列数字电路的真值表。



解答

A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

[提示] 根据 A，B 两输入端 0、1 的 4 种输入形式考虑输出 X。

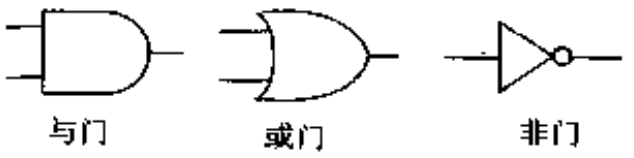
4 基本门电路(2)

加深对基本门电路的理解

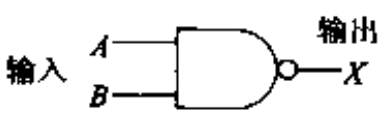


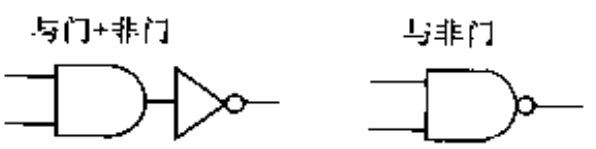
与非门(NAND)电路

小雨　学习了三个基本门(AND,OR,NOT)电路,除此之外,还有门电路吗?



博士　有,现看一下与非门(NAND)电路。与非门电路的工作状态相当于把与门电路的输出反相。





因此,真值表如下所示:

A	B	X
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

↑ 与门的输出

非门

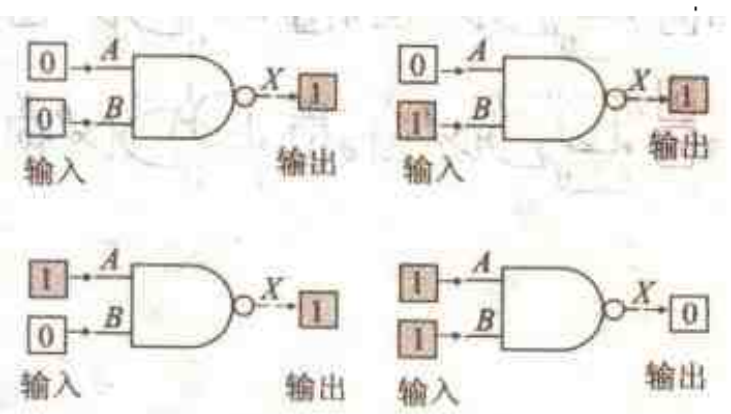
X
1
1
1
0

↑ 与非门的输出

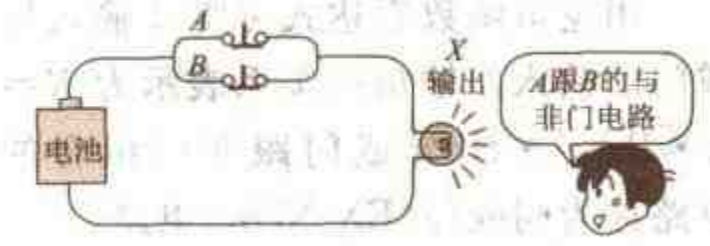
A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

与非门的真值表

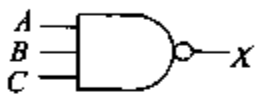
为慎重起见,再确认一下与非门电路的工作状态。



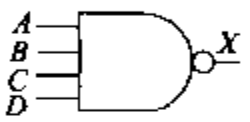
用逻辑函数表达式可将 2 输入与非门的输入跟输出的关系表示为 $X=\overline{A \cdot B}$。在开关电路中应用与非门的实例如下,仅当两个按钮开关同时按下时才无输出电压。



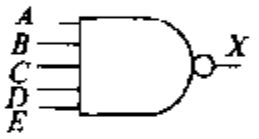
与非门电路跟与门和或门电路一样，也有多输入的类型。



3输入与非门



4输入与非门



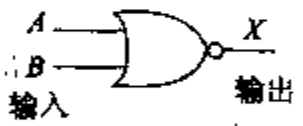
5输入与非门

A	B	C	X
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

3输入与非门的真值表

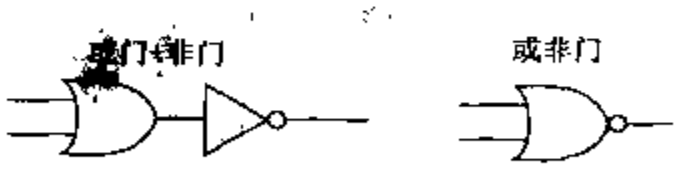
或非门(NOR)电路

博士 现看一下或非门电路。



或非门电路

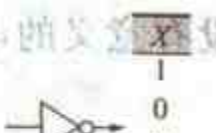
与非门电路的工作状态相当于把与门电路的输出反相，而或非门电路的工作状态相当于或门电路输出反相。



小明 于是，真值表如下所示：

A	B	X'
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

或门的输出



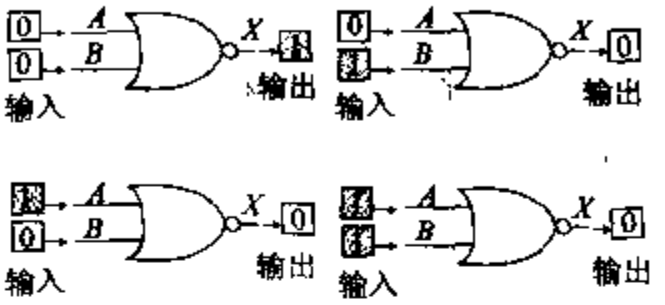
X
1
0
0
0

或非门的输出

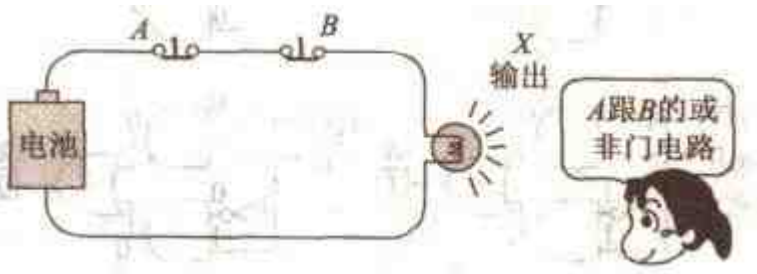
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

或非门的真值表

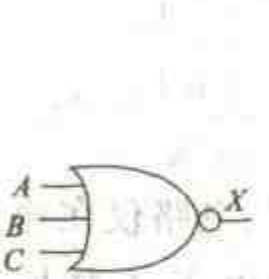
博士 再确认一下或非门电路的工作状态。



用逻辑函数表达式可将2输入或非门的输入跟输出的关系表示为 $X=\overline{A+B}$。在开关电路中应用或非门的实例如下，只要一个按钮开关按下时就无输出电压。



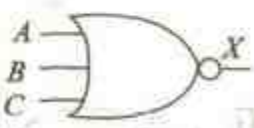
或非门电路也有多输入类型，如下图所示：



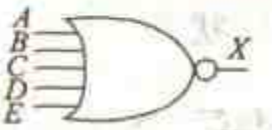
3输入或非门

A	B	C	X
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	0

3输入或非门的真值表



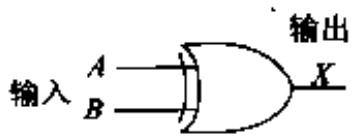
4输入或非门



5输入或非门

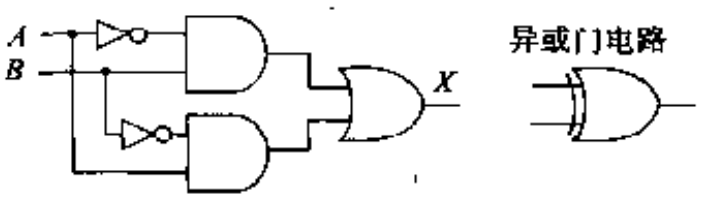
异或门(EX-OR)电路

博士 现学习异或门电路。

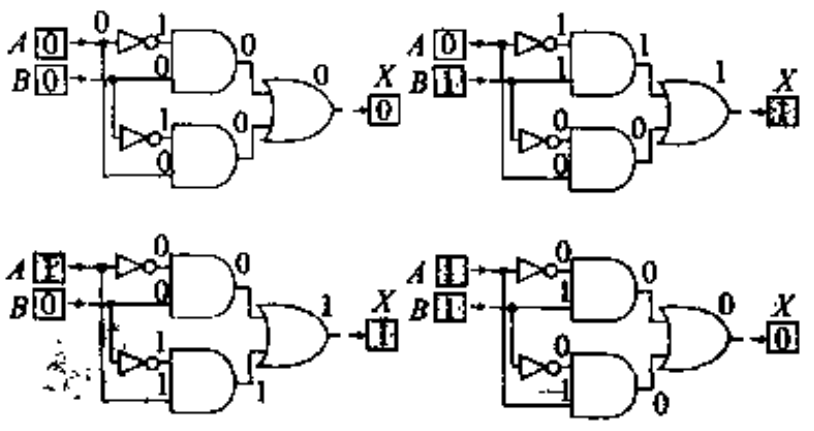


异或门电路

异或门逻辑运算称为排他逻辑和，其工作状态与下列电路相同：



小丽　列出的真值表如下：

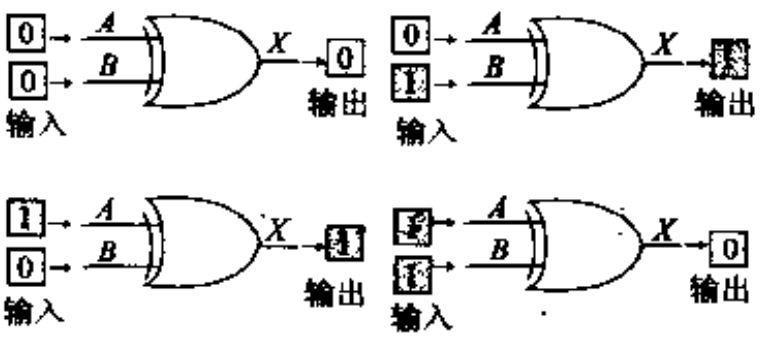


A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

异或门的真值表

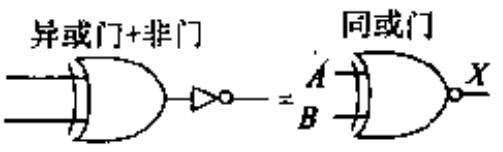
小明　异或门电路仅在输入 A 和 B 不同为 1 时，输出 X 才为 1。

博士　再确认一下异或门电路的工作状态。



（异或门电路的工作状态）

用逻辑函数表达式可将 2 输入异或门的输入跟输出的关系表示为 $X=\overline{A}\cdot B+A\cdot\overline{B}$。异或门跟非门组合的电路称为同或门(EX-NOR)电路。

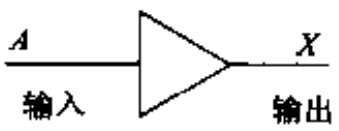


A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

同或门的真值表

缓冲器

博士　现在学习缓冲器。



缓冲器

A	X
0	0
1	1

真值表



小明　唉，一看真值表可知输入跟输出完全相同，这是什么电路？

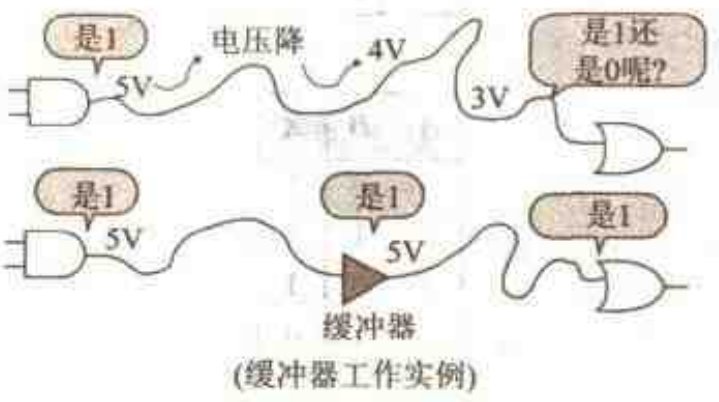
博士　的确，缓冲器对输入数据没有增加任何作用，也就是说，若只考虑 0，1 的数据没有任何意义。



小丽　没有意义的电路为何还能存在呢？

博士　考虑一下实际电路组成实例，电路中单元间连接一般采用铜

导线等，但铜导线有电阻，电阻上要产生电压降，若门电路输出 5V 电压（正逻辑 1），由于长铜导线电阻压降的影响，使 5V 电压在传输过程中大幅度下降，以至于变成了正逻辑 0。



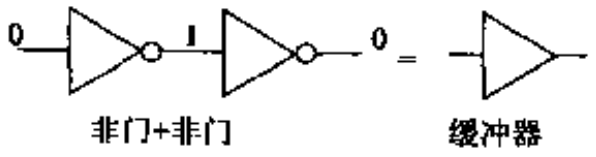
(缓冲器工作实例)

这时，若在电路的长配线中接入缓冲器，则缓冲器就会输出新的 5V 额定电压。门电路不仅是让输入电压通过，还要使输入电压（数据）保持原样，并输出新的电压数据。



缓冲器还用于增加门电路的扇出，作为 C－MOS 与 TTL 的接口。这些内容将在第 2 章学习。

小明 将 2 个非门串联也可构成与缓冲器工作状态相同的电路。

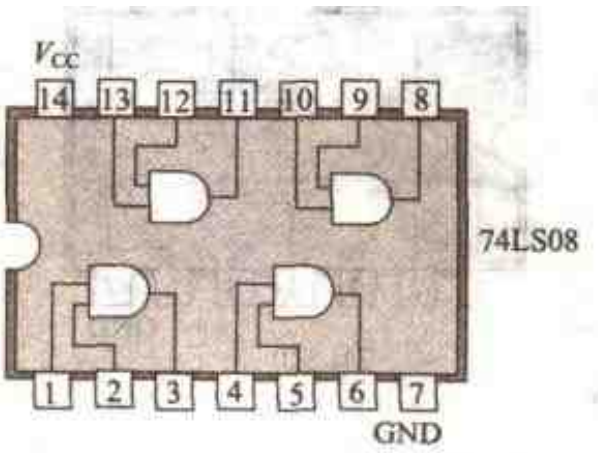


非门+非门　　缓冲器

集成门电路

小丽 实际组成数字电路时，门电路如何构成呢？

博士 门电路都选用市售集成化的电路，例如，74LS08 等型号的集成电路中有 4 个 2 输入与门电路。

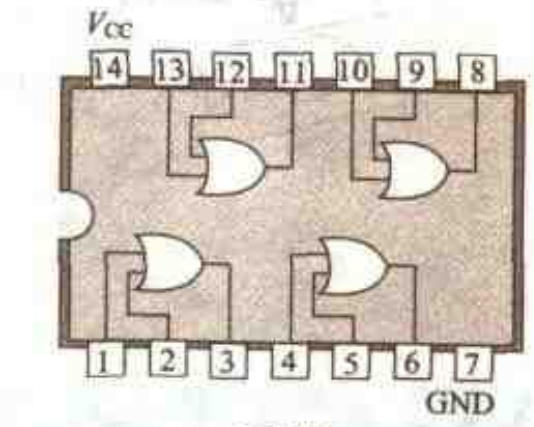


Vcc 和 GND 分别接集成门电路工作电压（5V）的正负端。

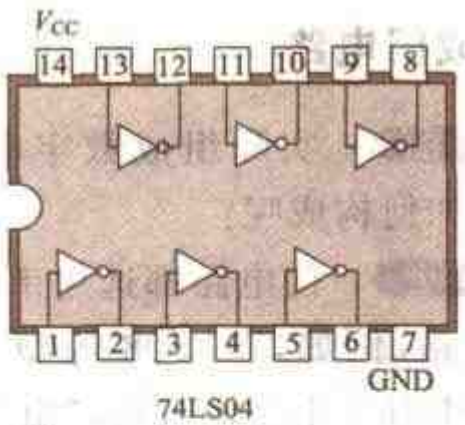


市售集成门电路的种类很多，因此，要根据需要选用。

集成门电路的内容在后述章节中将详细学习。



74LS32



解答

①

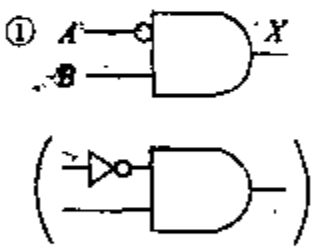
A	B	X
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	0

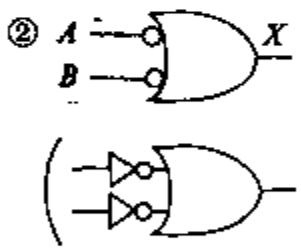
②

A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

练习题

问题 1　接在门单元各端子的非门可省略，用符号“0”表示(见下图)。试列出下述各电路的真值表。

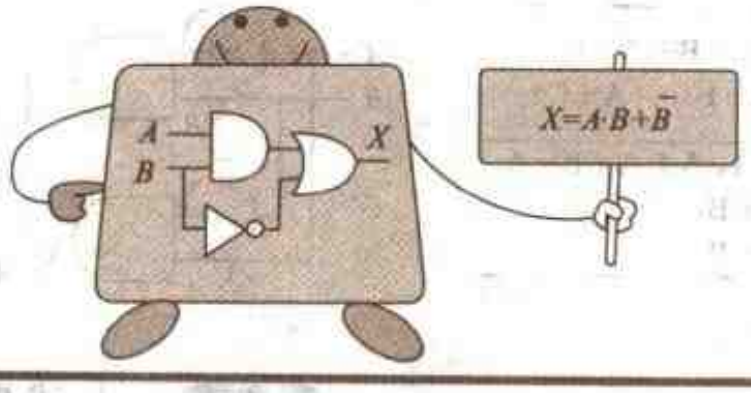
① 

② 



5 逻辑函数表达式

主要学习用表达式表示数字电路的方法

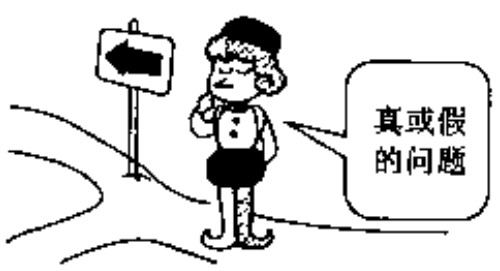


布尔代数

博士 知道逻辑学吗？

小丽 逻辑学是讨论某事件（逻辑学中称为命题）是真，还是假的学科。

小明 例如，命题“人类生存需要氧气”是真，但命题“由于存在氧气，所以人类需要它”是假。

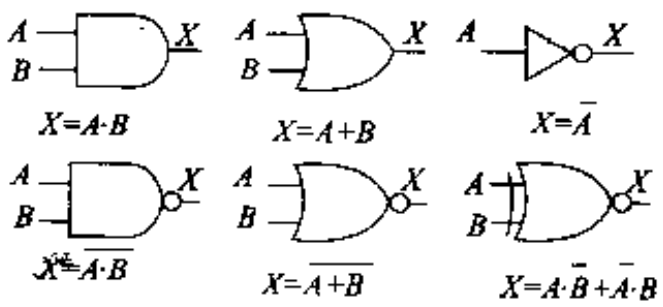


博士 逻辑学家也是数学家的布尔（George Boole）（1815～1864 年）提出用数学解析逻辑学以及逻辑代数的理论（1847 年）。

该理论称为布尔代数，命题用 A，B 等变量代替，真与假用 1 与 0 代替。

布尔代数用于减少电路中继电触点数目的计算等。另外，用于数字电路的设计与分析也非常有效，现在还广泛采用这种方法。现开始学习布尔代数的基本知识。

小丽 至今为止我们已经学习了几个逻辑函数表达式。



博士 布尔代数的基本定律如下表所列：

名 称	公 式
0-1 律	$1+A=1$ $0\cdot A=0$
恒等律	$0+A=A$ $1\cdot A=A$
重叠律	$A+A=A$ $A\cdot A=A$

名　称	公　式
互补律	$A+\overline{A}=1$ $A\cdot\overline{A}=0$
还原律	$\overline{\overline{A}}=A$
交换律	$A+B=B+A$ $A\cdot B=B\cdot A$
结合律	$A+(B+C)=(A+B)+C$ $A\cdot(B\cdot C)=(A\cdot B)\cdot C$
分配律	$A\cdot(B+C)=A\cdot B+A\cdot C$ $A+B\cdot C=(A+B)\cdot(A+C)$
吸收律	$A\cdot(A+B)=A$，$A+A\cdot B=A$ $A+\overline{A}\cdot B=A+B$， $\overline{A}+A\cdot B=\overline{A}+B$
德·摩根定律	$A+\overline{B}=\overline{A}\cdot\overline{B}$ $\overline{A\cdot B}=\overline{A}+\overline{B}$

小明　相当难，但仔细地研究一下，恒等律（$0+A=A$，$1\cdot A=A$）和交换律（$A+B=B+A$，$A\cdot B=B\cdot A$）等同我们学习的普通数学一样。

博士　是的，然而，也要注意布尔代数的特有规律。例如，下列所示分配律在一般数学领域是不成立的。

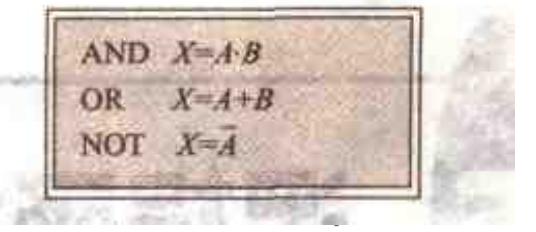




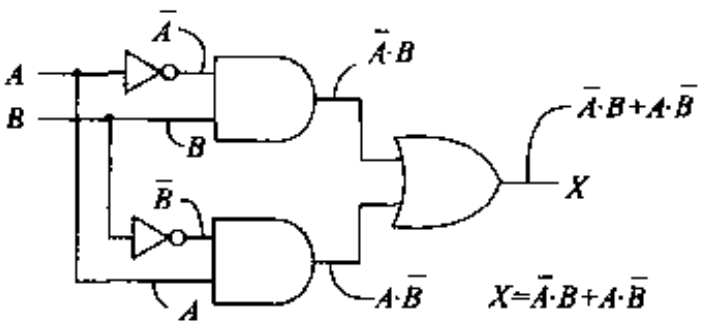
逻辑函数表达式

博士　试进行用逻辑函数表达式表示数字电路的练习。若用逻辑函数表达式表示电路图，对电路的设计与分析非常有用。

基本逻辑函数表达式有下列三个：



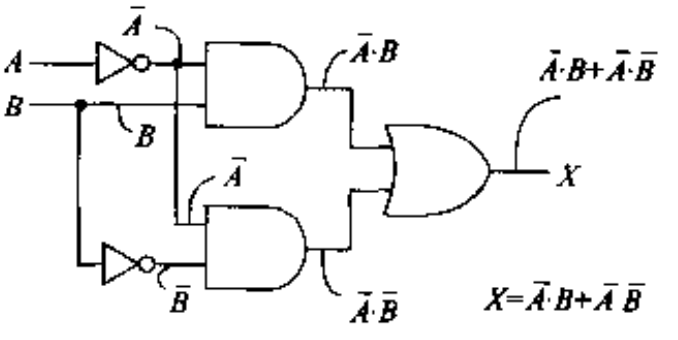
可用逻辑函数表达式表示下列电路：



小丽　上述电路是异或门电路。

博士　用逻辑函数表达式表示下列电路，则为 $X=\overline{A}\cdot B+\overline{A}\cdot\overline{B}$。该式可改写为以下形式：

$$
\begin{aligned}
X&=\overline{A}\cdot B+\overline{A}\cdot\overline{B}\\
&=(B+\overline{B})\cdot\overline{A} && \text{分配律}\\
&=1\cdot\overline{A} && \text{互补律}\\
&=\overline{A} && \text{恒等律}
\end{aligned}
$$

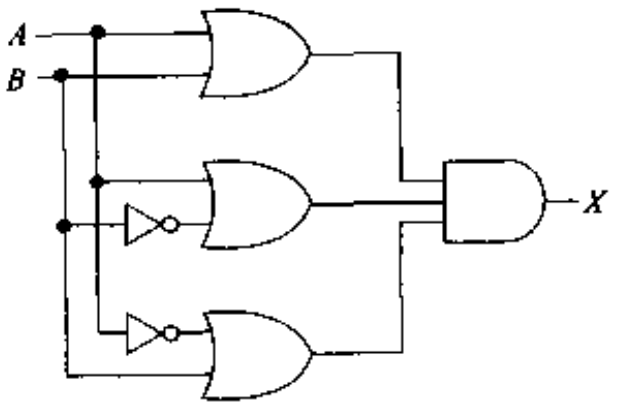


也就是说，这个数字电路就是一个非门电路。

小明　采用原来的电路需要多个门电路构成，但将逻辑函数表达式化简，就可构成简单而工作状态相同的电路。

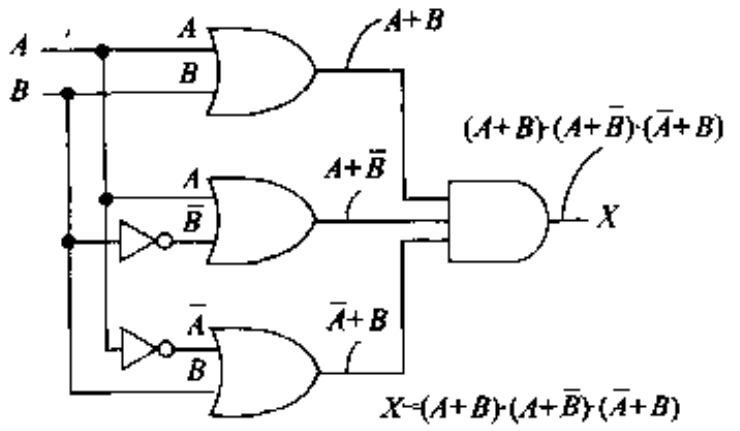
问题 1

试简化下列数字电路：



解答

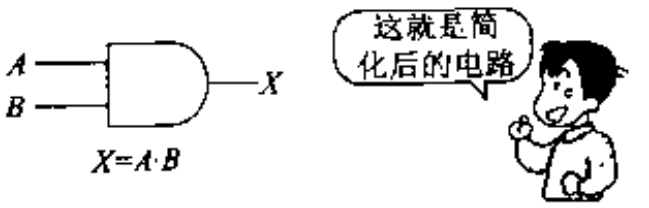
先求出该电路的逻辑函数表达式。



再对逻辑函数表达式进行化简。

$$
\begin{aligned}
X &= (A+B)\cdot(A+\bar{B})\cdot(\bar{A}+B) \\
&= (\underbrace{A\cdot A}_{A}+A\cdot\bar{B}+A\cdot B \\
&\quad \underbrace{+B\cdot\bar{B}}_{0})(\bar{A}+B) \\
&= A\cdot(1+\bar{B}+B)\cdot(\bar{A}+B) \\
&= A\cdot(\bar{A}+B) \\
&= A\cdot\bar{A}+A\cdot B = A\cdot B
\end{aligned}
$$

最后根据化简的逻辑函数表达式画出数字电路。



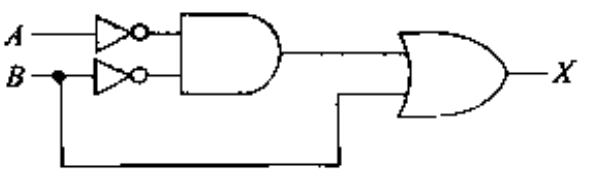
博士 现在为了求出数字电路的真值表，可将 0，1 填入电路中，也可以利用逻辑函数表达式求出真值表。

小丽 求出了数字电路的逻辑函数表达式之后，将 0，1 代入该表达式中即可。

博士 是的，用例题来证实一下。

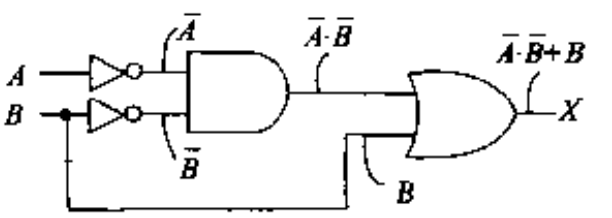
问题 2

试根据逻辑函数表达式求出下列数字电路的真值表：



解答

根据电路求出逻辑函数表达式。将 0，1 代入逻辑函数表达式中，即可求出真值表。



A	B	$X=\bar{A}\cdot\bar{B}+B$
0	0	$X=\bar{0}\cdot\bar{0}+0=1$
0	1	$X=\bar{0}\cdot\bar{1}+1=1$
1	0	$X=\bar{1}\cdot\bar{0}+0=0$
1	1	$X=\bar{1}\cdot\bar{1}+1=1$

A	B	X
0	1	1
1	0	1
1	1	0
1	1	1

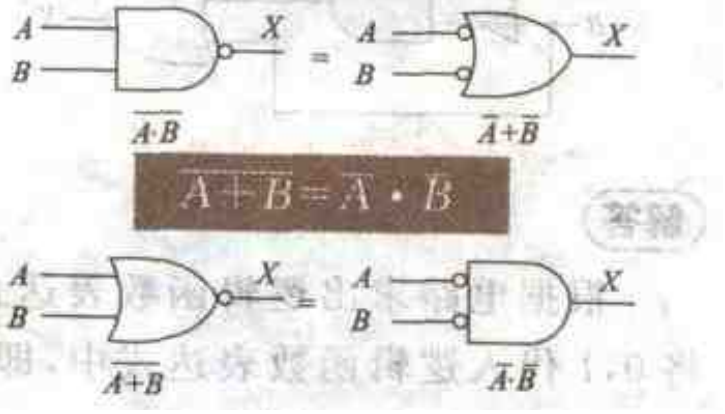
德・摩根定律

博士　德・摩根定律是布尔代数中非常重要的定律。

德・摩根定律

$$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$$
$$\overline{A} + \overline{B} = \overline{A \cdot B}$$

试用数字电路分析德・摩根定律。

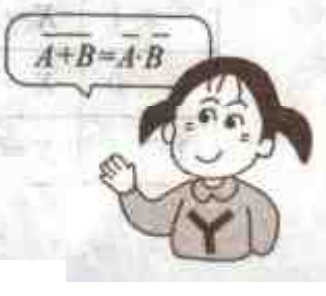


小明　这些都能通过求真值表得到证明。

A	B	$\overline{A \cdot B}$	$\overline{A} + \overline{B}$
0	0	1	1
0	1	1	1
1	0	1	1
1	1	0	0

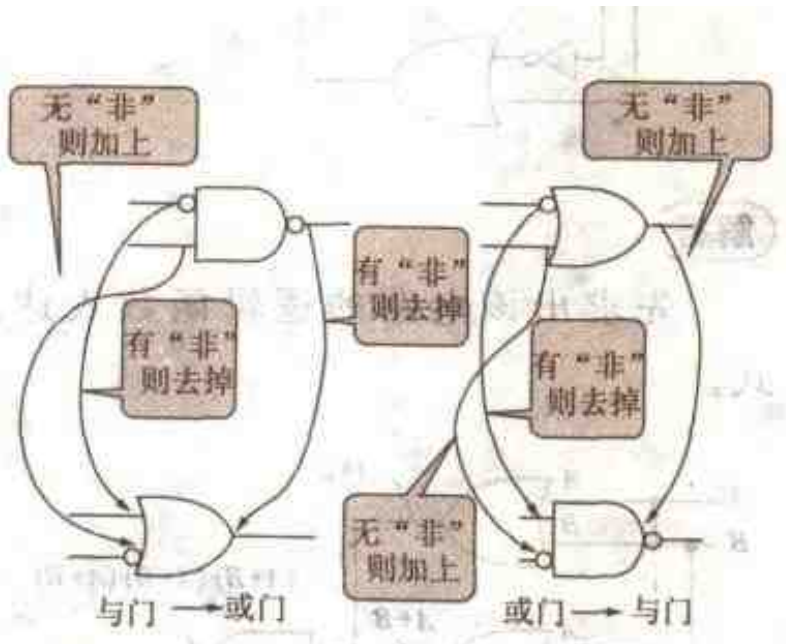


A	B	$\overline{A} + \overline{B}$	$\overline{A \cdot B}$
0	0	1	1
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	0	0

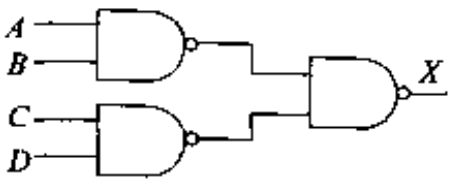


小丽　将与门电路变为或门电路，或将或门电路变为与门电路时用到德・摩根定律。

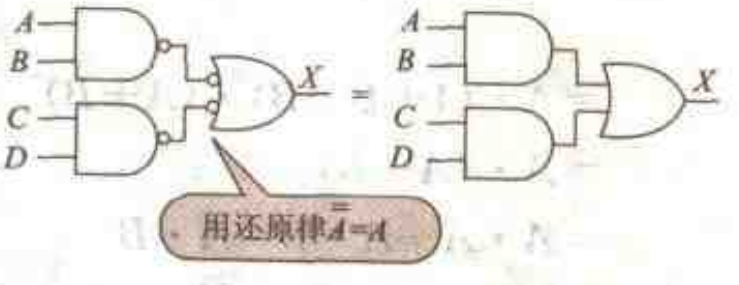
博士　若记住下列方法就非常方便。



试分析下列数字电路：



小明　用德・摩根定律可将上述电路变为下列形式：

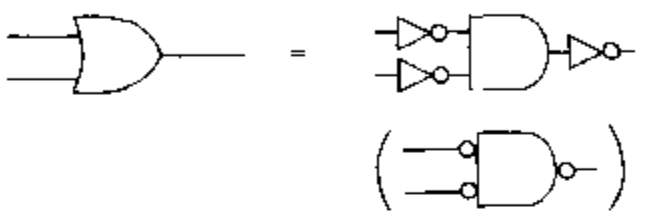


博士　上述电路的工作原理都一样，但根据变形后的电路非常容易理解，该电路的工作状态是

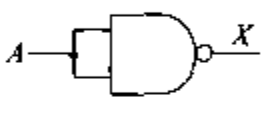
$X = A \cdot B + C \cdot D$。

与非门(NAND)电路

博士 学习由与门电路和非门电路构成或门电路。



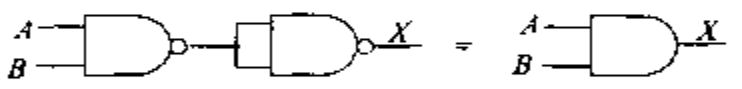
下列电路的工作状态如何呢?



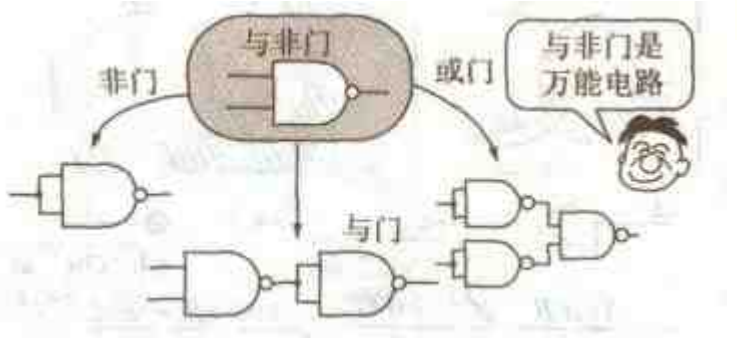
A	X
0	1
1	0

小明 求出真值表就知道该电路的工作状态跟非门电路一样。

博士 试用两个与非门构成与门电路。



即由与非门可以构成非门电路、与门电路、或门电路。

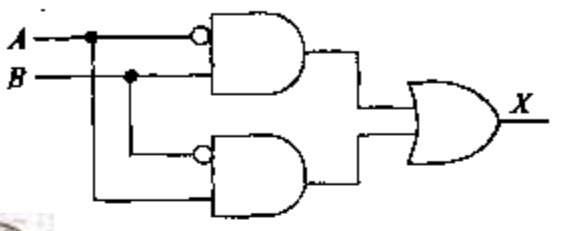


小丽 也就是说,若有与非门电路,就能构成任何基本门电路。

博士 是这样,用例题验证一下。

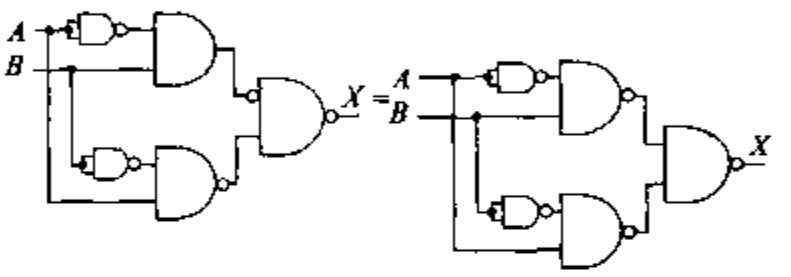
例题 3

试只用与非门电路构成下列数字电路:



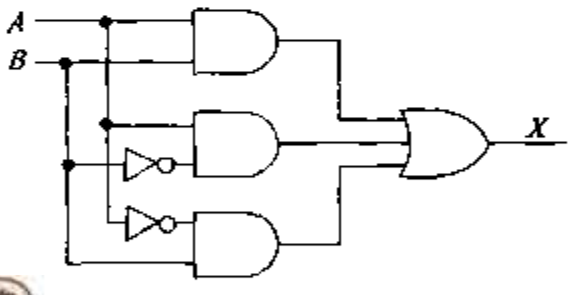
解答

应用德·摩根定律,将或门转换成与非门。



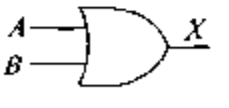
练习题

问题 1 简化下列数字电路。



解答

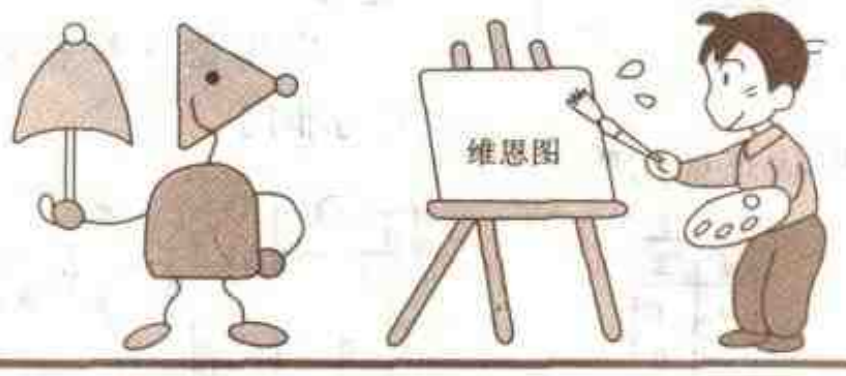
$$\begin{aligned} X &= A\cdot B + A\cdot B + \bar{B}\cdot B \\ &= A\cdot(B+\bar{B}) + \bar{A}\cdot B \\ &= A + \bar{A}\cdot B \\ &= A + B \end{aligned}$$



[提示] 化简由电路图求出的逻辑函数表达式。

6 文氏(Venn)图

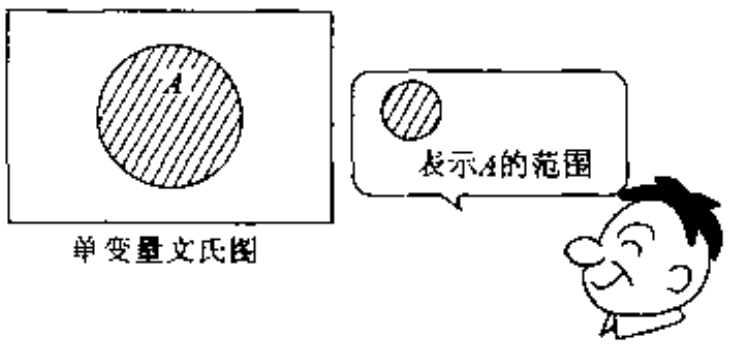
用文氏图直观表示数字电路



文氏图

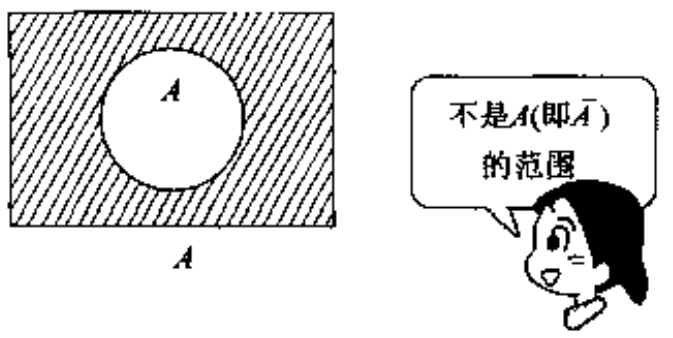
博士　可用文氏图直观表示数字电路的工作状态。

先看看单变量的文氏图，总范围可用方形表示，A 变量范围用圆形表示。



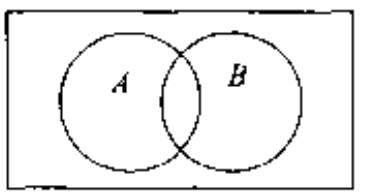
单变量文氏图

于是下图的斜线部分表示 $\overline{A}$。$\overline{A}$ 表示 A 的反相。



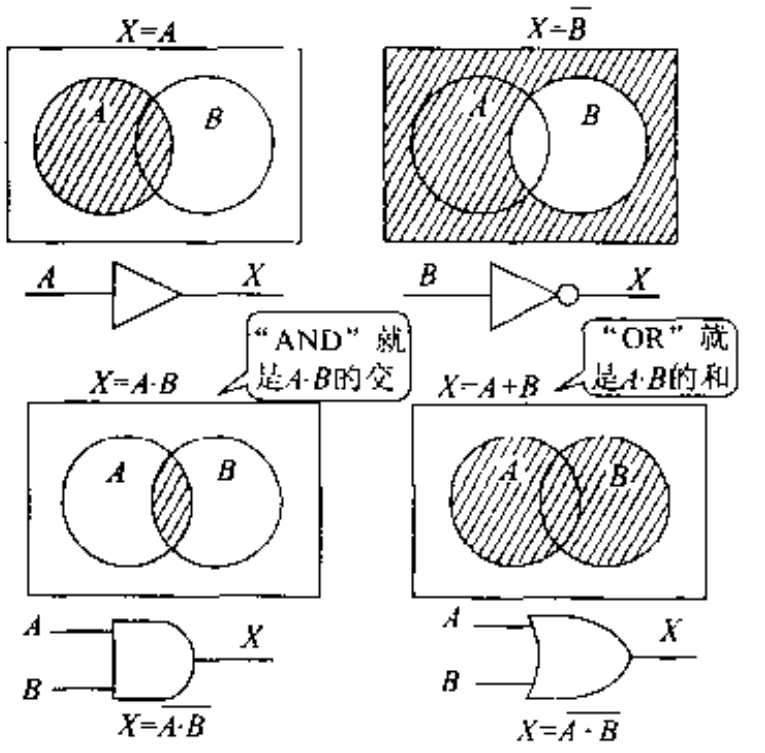
A

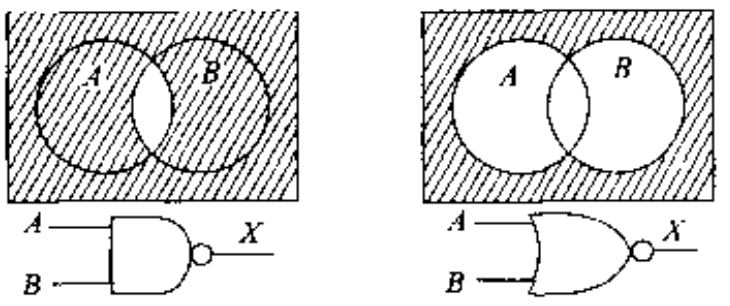
再看一下处理二变量的文氏图。



二变量文氏图

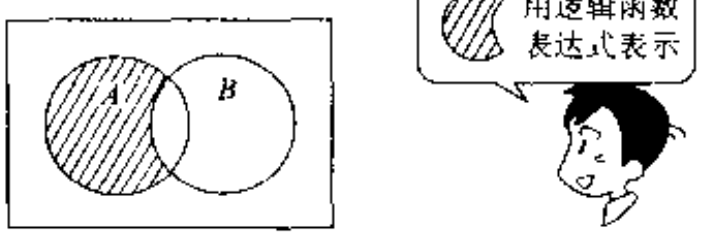
请根据逻辑函数表达式与相对应的数字电路，验证文氏图的斜线部分。



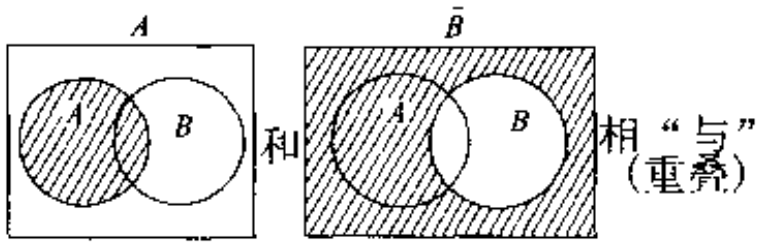


例题 1

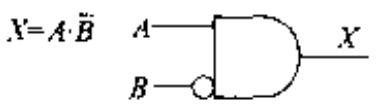
试求下列文氏图的斜线部分相应的逻辑函数表达式：



解答 题中的范围可认为是

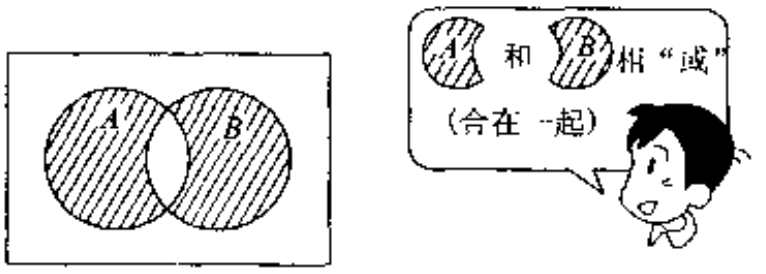


即可表示为

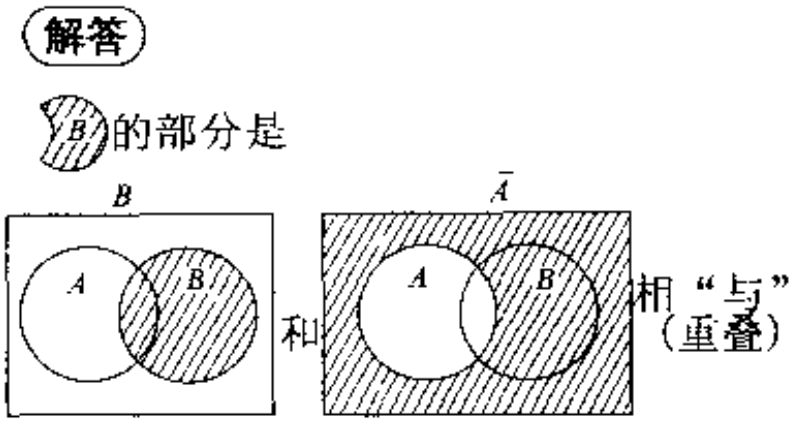


例题 2

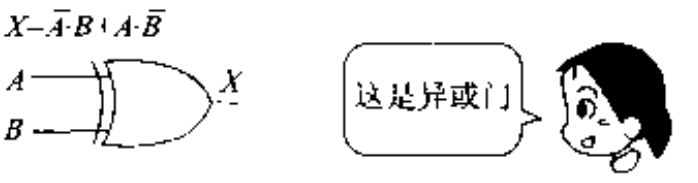
试求下列文氏图的斜线部分相应的逻辑函数表达式：



解答

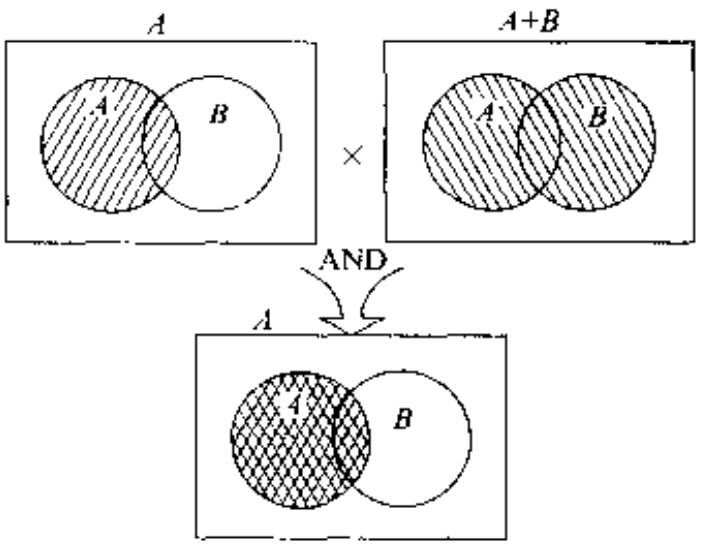


即 B · $\bar{A}$。结果是该部分同例题 1 求出的部分相“或”。

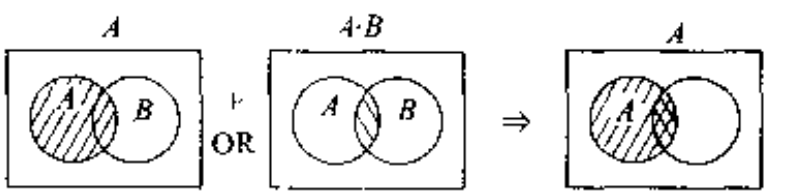


博士 试用文氏图证明布尔代数基本定律中的吸收律。

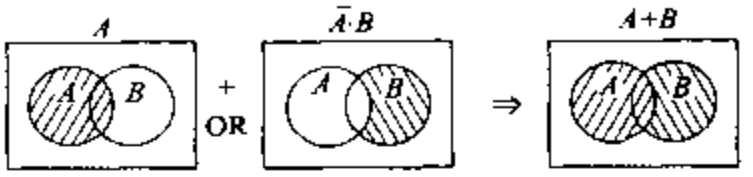
① A · (A + B) = A



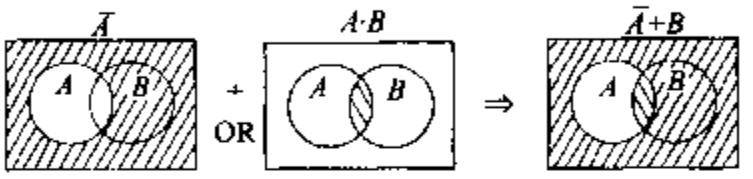
② A + A · B = A



③ A + $\bar{A}$ · B = A + B



④ $\overline{A}+A\cdot B=\overline{A}+B$



小明　使用文氏图较容易转换成逻辑函数表达式。

例题 3

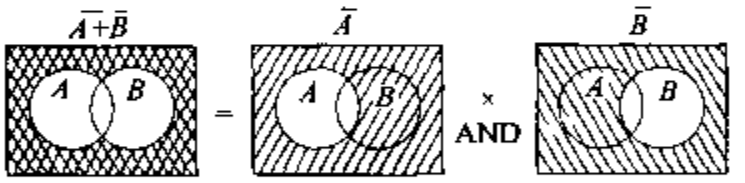
试用文氏图证明德・摩根定律。

① $\overline{A+B}=\overline{A}\cdot\overline{B}$

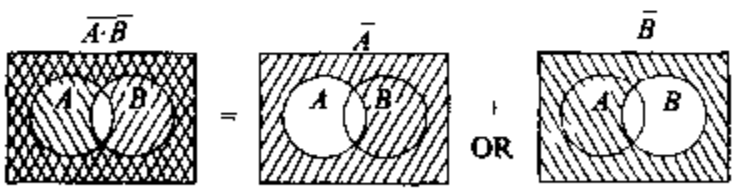
② $\overline{A\cdot B}=\overline{A}+\overline{B}$

解答

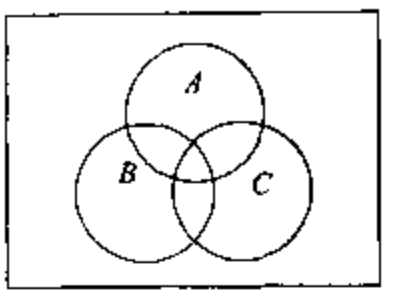
①



②

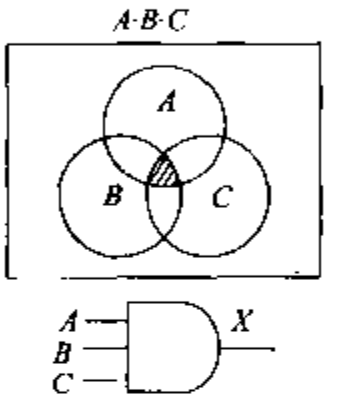


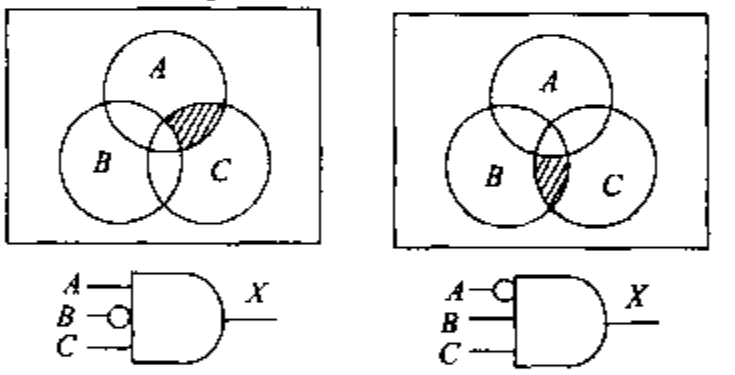
博士　三变量文氏图的分析方法也是一样。



三变量文氏图

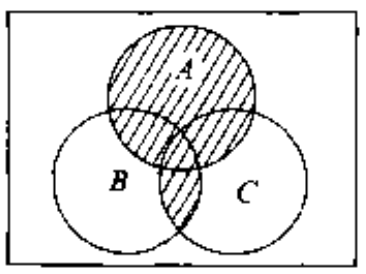
试根据逻辑函数表达式验证文氏图的斜线部分。



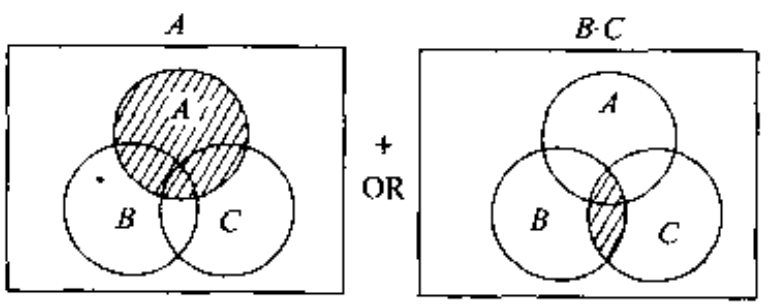


例题 4

试求下列文氏图斜线部分相应的逻辑函数表达式：



解答



即$X=A+B\cdot C$

例题 5

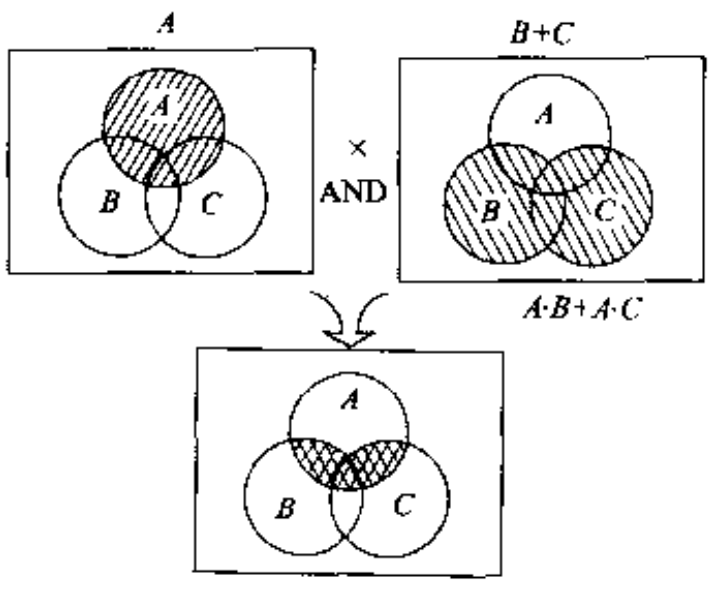
试用文氏图证明分配律。

① $A\cdot(B+C)=A\cdot B+A\cdot C$

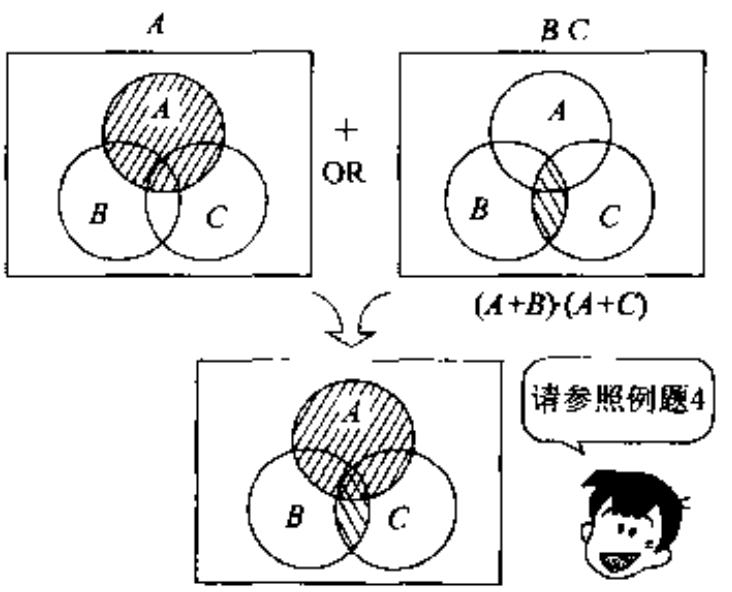
② $A+B\cdot C=(A+B)\cdot(A+C)$

解答

①



②

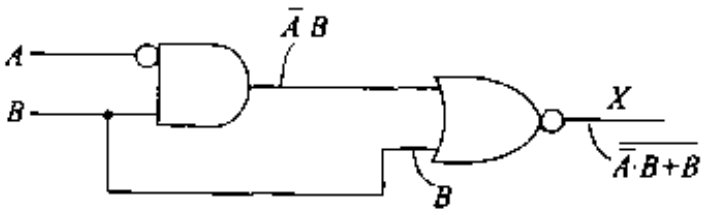


小丽 前面已学习用逻辑函数表达式可简化数字电路。用文氏图也能简化数字电路吗？

博士 能，可用下列例题进行验证。

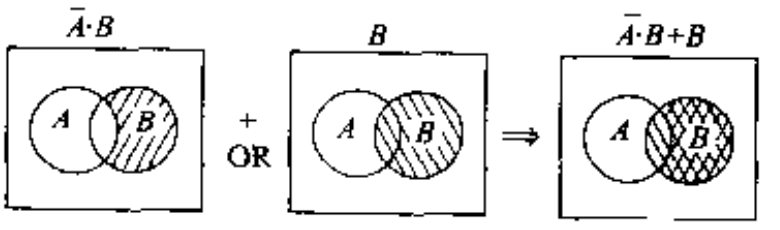
例题 6

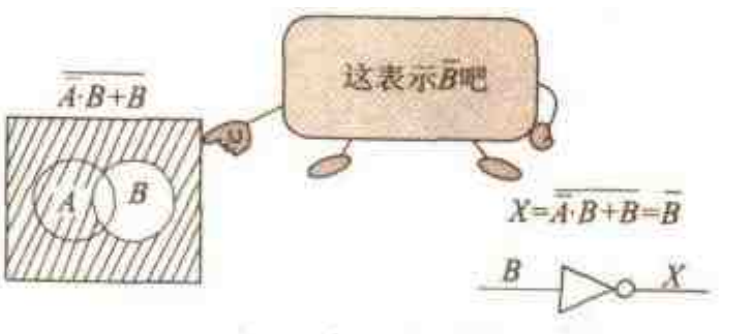
试用文氏图简化下列数字电路：



解答

用文氏图表示逻辑函数表达式：





博士　文氏图不仅用于数字电路，也适用于普通问题。

例如，某旅行社对是否去过英国和美国的人进行民意测验。民意测验的结果如下：

去过英国的人数 ……19 人

去过美国的人数 ……23 人

两国都没去过的人数 ……41 人

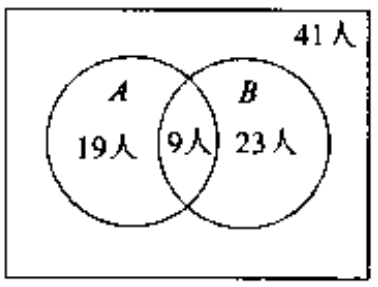
两国都去过的人数 ……9 人。

试用文氏图表示民意测验的结果。

博士　那么，民意测验中答卷人有多少呢？

请小明画出相应文氏图。

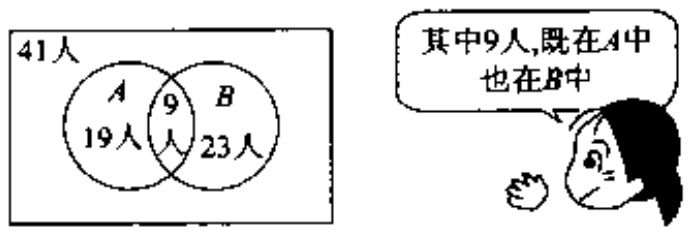
小明　可用二变量的文氏图表示。



A：表示去过英国的人数

B：表示去过美国的人数

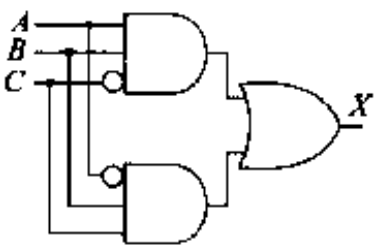
小丽　用 A 和 B 两方对两国都去过的人进行计数，这样 $(19+23-9)+41$ 就是民意测验中答卷人数。



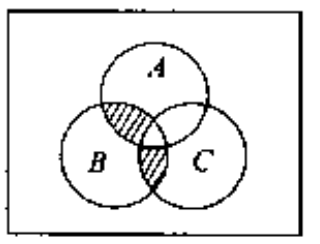
博士　答案正确。到目前为止已学习过三变量文氏图，但三个以上变量的文氏图相当复杂。因此，多个变量时采用下节学习的卡诺图非常有效。

练习题

问题 1　试画出下列数字电路相应的文氏图：



解答



7 卡诺图

主要学习用卡诺图分析电路的方法



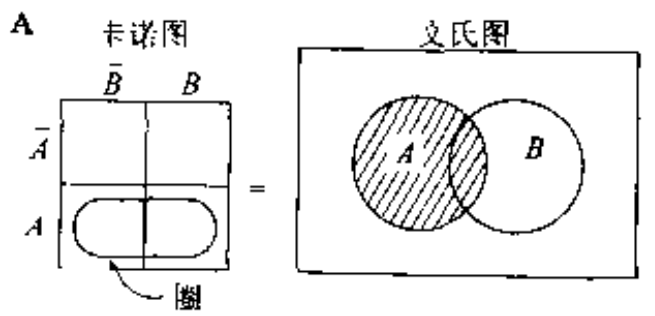
二变量卡诺图

博士 卡诺图与文氏图一样，都是用图形表示数字电路的方法。先说明二输入变量的卡诺图，三以上输入变量基本上与二输入的一样，因此，主要学习二输入变量的卡诺图。

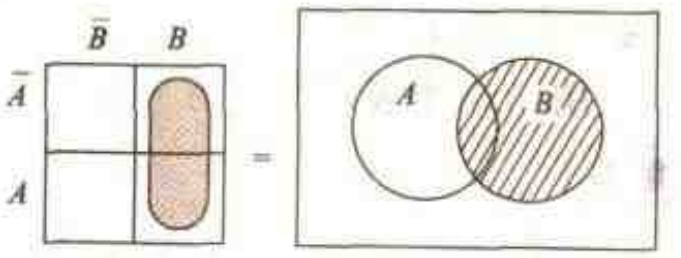
二输入变量时使用的卡诺图如下：



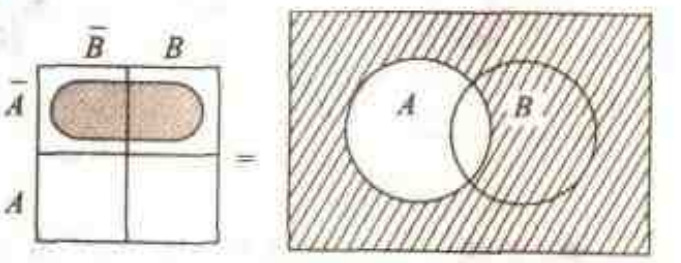
用圈表示卡诺图中范围。下图示出卡诺图表示的范围与相应的文氏图表示的范围，试比较：



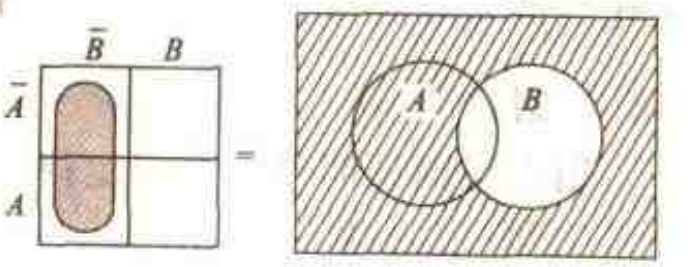
B



$\bar{A}$



$\bar{B}$



小明 如何用卡诺图表示 $A+B$ 及 $A \cdot B$ 呢？

博士 $A+B$ 意味着 A 和 B 合在一起，因此，用卡诺图表示如下：



小丽　$A \cdot B$ 意味着 A 与 B 重叠，因此，用卡诺图表示如下：



形状稍有些差别，但卡诺图跟文氏图的感觉一样。

例题 1

用卡诺图表示 $X=\overline{A} \cdot B$。

解答



博士　用卡诺图也可以证明布尔代数的基本定律。

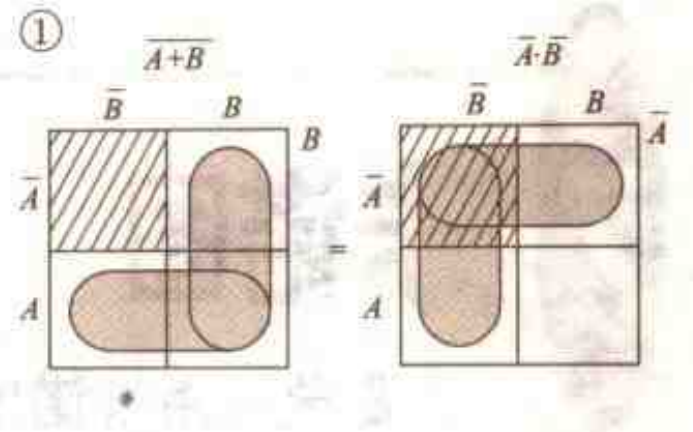
例题 2

用卡诺图证明德·摩根定律。

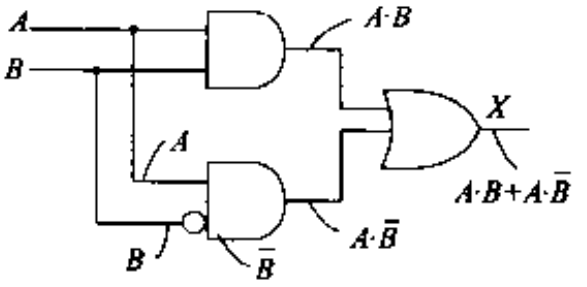
① $\overline{A+B}=\overline{A} \cdot \overline{B}$

② $\overline{A \cdot B}=\overline{A}+\overline{B}$

解答



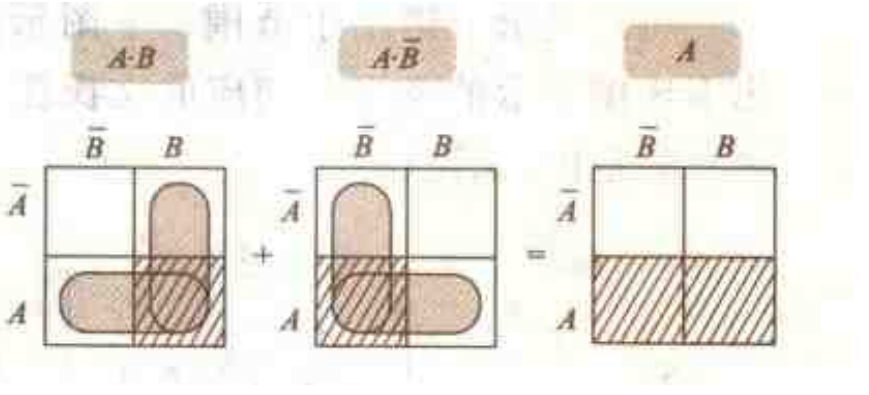
博士　下面说明用卡诺图简化数字电路的方法。试简化下列电路：



小明　这个电路的逻辑函数表达式为

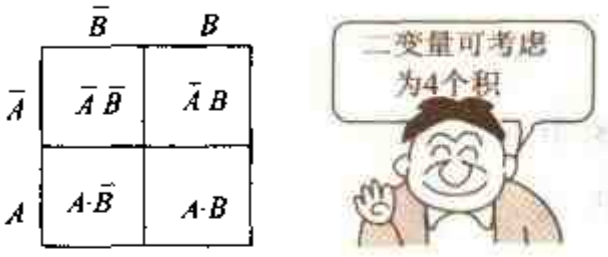
$X=A \cdot B+A \cdot B$。

博士　用卡诺图表示的逻辑函数表达式如下：



小丽　这个逻辑函数表达式表示 A 范围，即可简化为 $X=A$。

博士 是这样。用卡诺图简化逻辑函数表达式非常有效，但必须注意有关问题试看下列卡诺图对应的逻辑函数表达式：



上述的 $\bar{A}\cdot\bar{B}$ 及 $\bar{A}\cdot B$ 的逻辑积称为简单积，用和的形式表示简单积的称为加法标准式。

（加法标准式）

$X=$简单积$+$简单积$+\cdots+$简单积

例如：$X=\bar{A}\cdot B+A\cdot\bar{B}+A\cdot B$

对于用卡诺图化简的逻辑函数表达式，要用加法标准式来表示。

小丽 也就是说，逻辑函数表达式不是加法标准式时，先要变为加法标准式再利用卡诺图吗？

博士 是这样，这里将用卡诺图化简逻辑函数表达式的步骤归纳如下：

用卡诺图化简逻辑函数表达式的步骤

① 将逻辑函数表达式变为加法标准式。
② 在逻辑函数表达式的简单积对应的卡诺图中填入 1。
③ 用圈圈起填入 1 的相邻方格。
④ 取出圈圈过的部分。

例题 3

用卡诺图化简下列逻辑函数表达式：

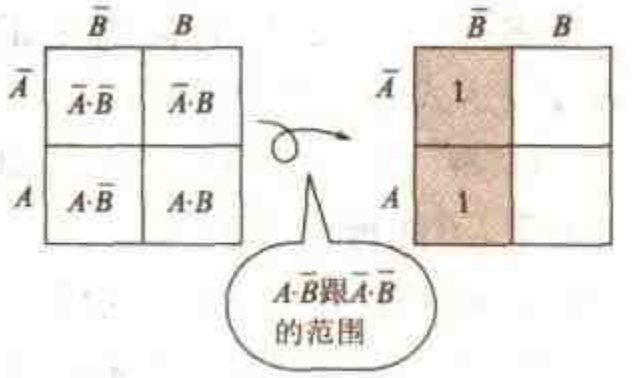
$$X=\bar{A}\cdot\bar{B}+\bar{B}\cdot(A+B)$$

解答

① 将逻辑函数表达式展开为加法标准式

$$X=\bar{A}\cdot\bar{B}+A\cdot\bar{B}+B\cdot\bar{B}$$
$$=\bar{A}\cdot\bar{B}+A\cdot\bar{B}$$

② 在卡诺图对应方格中填入 1。



③ 用圈圈起填入 1 的相邻方格。



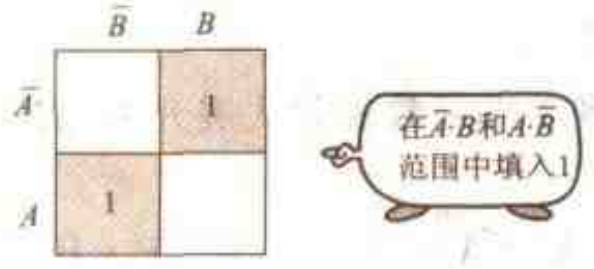
④ 取出圈圈过的部分。



博士 试化简下列逻辑函数表达式：

$$X=\bar{A}\cdot B=A\cdot\bar{B}$$

小明 上述给定的逻辑函数表达式已是加法标准式，可在卡诺图中填入 1。

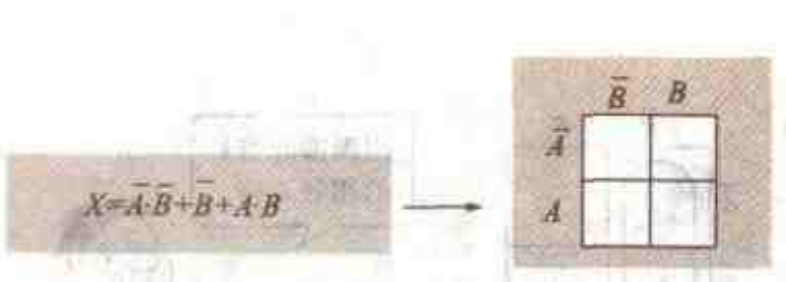


这里没有相邻的方格部分，所以不用画圈。

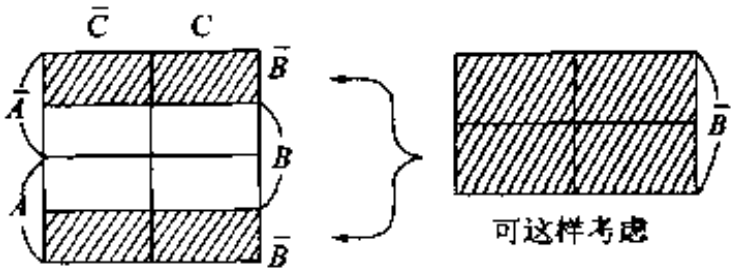
博士　不能画圈时，给定的逻辑函数表达式不能再化简了。

小丽　$X=\bar{A}\cdot B+A\cdot\bar{B}$，即为异或关系，不能再化简了。

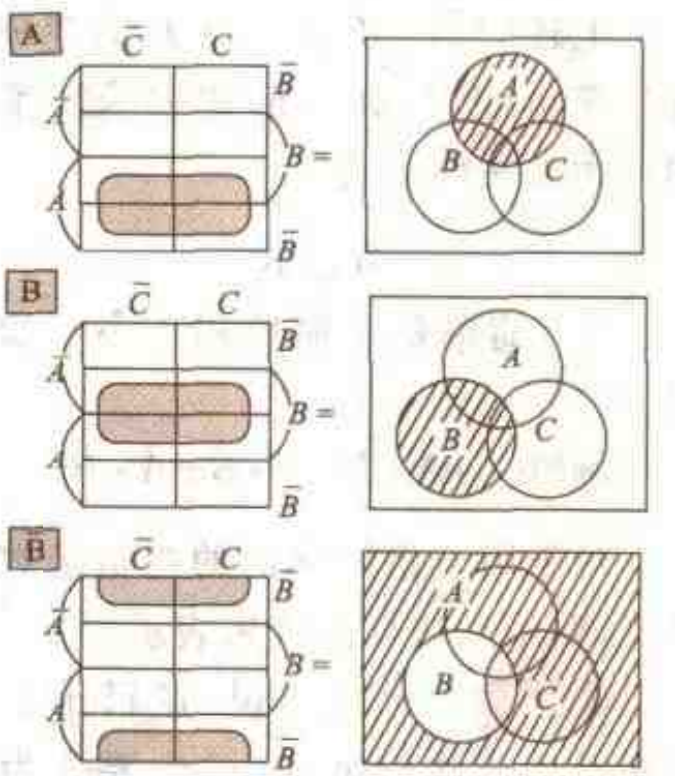
小明　若用卡诺图表示自己给定的逻辑函数表达式，试判断电路是否为最简单的形式。



（可用卡诺图验证逻辑函数表达式）

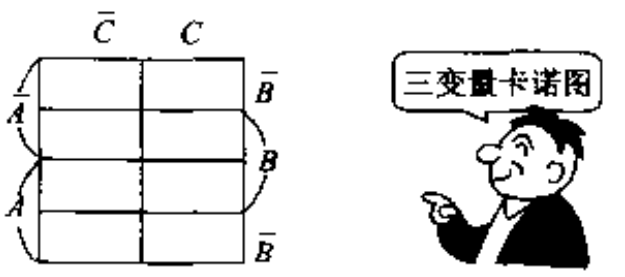


三变量卡诺图表示的范围跟用文氏图表示的对应范围如下所示，试进行比较。



三变量卡诺图

博士　下面学习处理三变量的卡诺图。输入为三变量时，用下列卡诺图：



$\bar{B}$ 是上下隔开那样配置，但用卡诺图时，上下 $\bar{B}$ 的范围可当作相邻来处理。

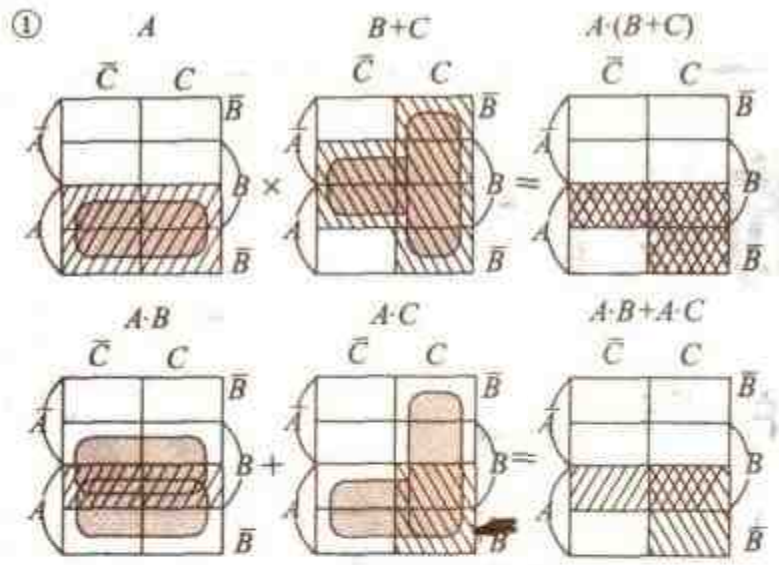
例题 4

试用三变量卡诺图证明布尔代数的分配律。

① $A\cdot(B+C)=A\cdot B+A\cdot C$

② $A+B\cdot C=(A+B)\cdot(A+C)$

解答



博士 试用卡诺图将三变量的逻辑函数表达式化简。

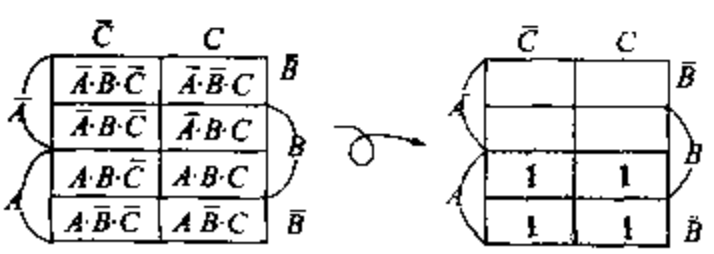
例题 5

化简下列逻辑函数表达式。

$$X=A\cdot B\cdot \bar{C}+A\cdot \bar{B}\cdot C+A\cdot B\cdot C+A\cdot \bar{B}\cdot \bar{C}$$

解答

先将逻辑函数表达式变为加法标准式，然后，在卡诺图对应部分填入 1。

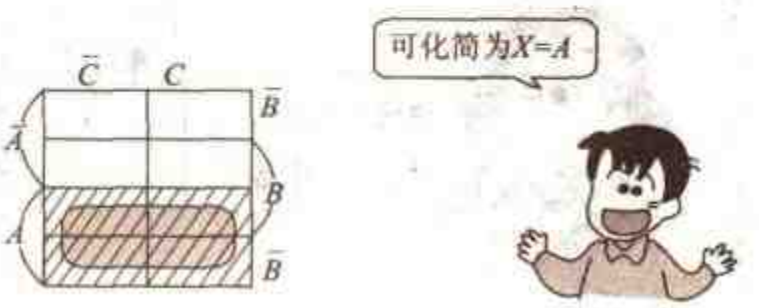


三变量的简单积

用圈圈起相邻部分。

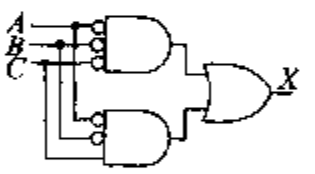


取出圈圈起的部分。



练习题

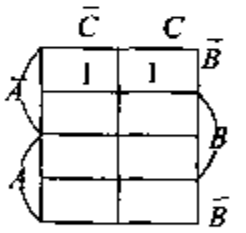
问题 1 试用卡诺图化简下列数字电路：



解答

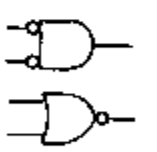
$$X=\bar{A}\cdot\bar{B}\cdot C+\bar{A}\cdot B\cdot C$$

根据



则得到 $X=\bar{A}\cdot\bar{B}$

或者 $\overline{A+B}$



8 逻辑电路的设计

学习基本逻辑电路的设计方法



由真值表求出逻辑函数表达式

博士　由门单元构成的电路称为数字电路，也称为逻辑电路。逻辑电路是处理输入 0、1 组成的数字信号的电路。



这里学习由真值表求出逻辑函数表达式的方法。

(1) 加法标准式的逻辑函数表达式

博士　用卡诺图说明加法标准式吧。小明记住了吗？

小明　是用简单积之和的形式表示逻辑函数表达式吧。

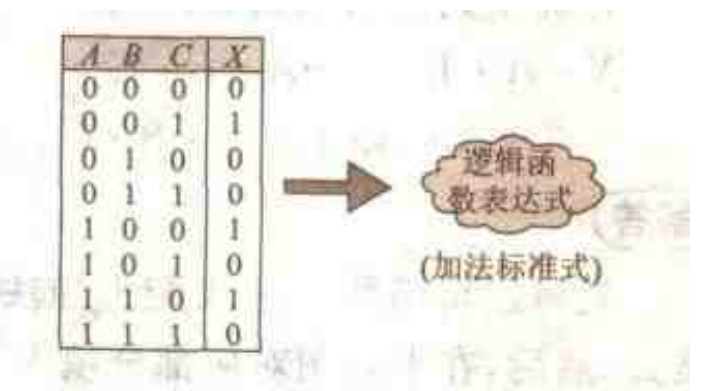
X＝简单积＋简单积＋…＋简单积

例如，

$X=A\cdot B\cdot C+A\cdot \bar{B}\cdot C+A\cdot \bar{B}\cdot \bar{C}$

（加法标准式的逻辑函数表达式）

博士　不错，现在就说明由下列真值表，求出加法标准式的逻辑函数表达式的方法。

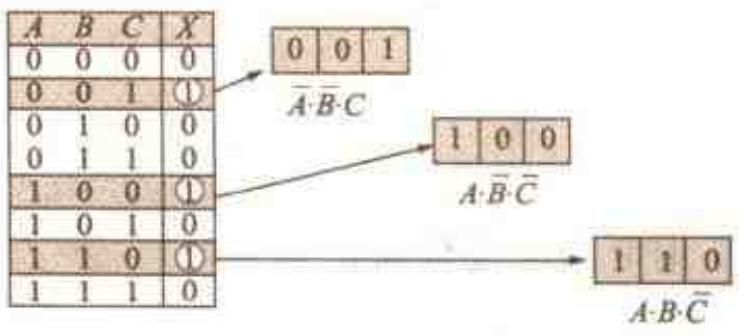


A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

先注意输出为 1 的情况。

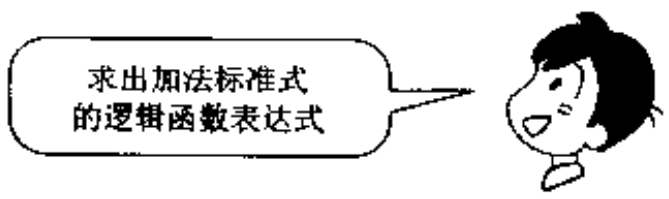


输出为 1 的输入部分构成简单积。输入为 0 则反相，为 1 则保持原样。



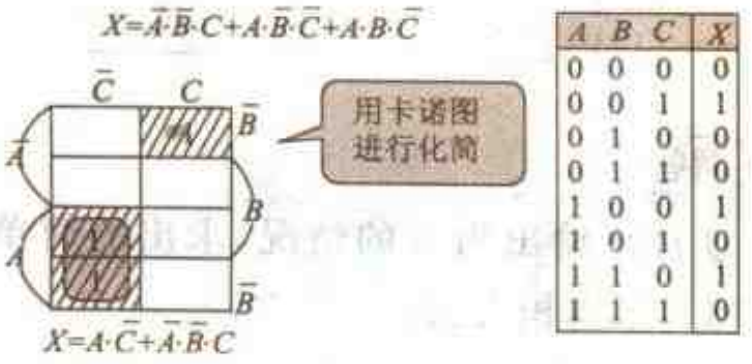
得到求出所有的简单积之和。

$$X=\bar{A}\cdot\bar{B}\cdot C+A\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}+A\cdot B\cdot\bar{C}$$



这就是由真值表求出的加法标准式的逻辑函数表达式。

小明 由逻辑函数表达式求出真值表可知，这跟由真值表求出逻辑函数表达式的方法没有什么不同。



(2) 乘法标准式的逻辑函数表达式

博士 所谓乘法标准式是用简单和之积的形式表示的逻辑函数表达式：

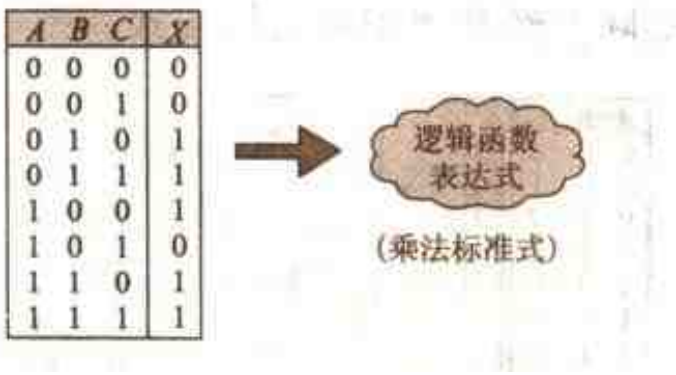
$X=$简单和·简单和·简单和

例如，

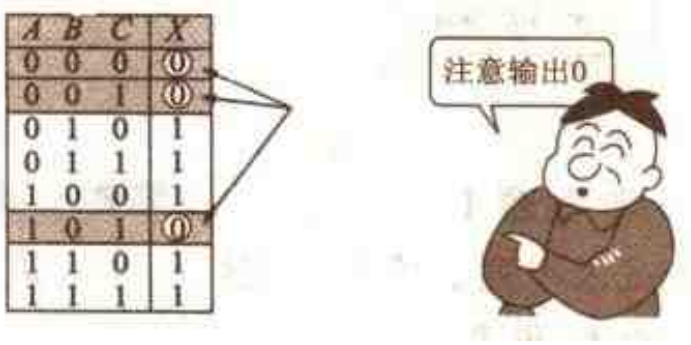
$$X=(A+B+C)\cdot(A+\bar{B}+\bar{C})\cdot(\bar{A}+B+\bar{C})$$

（乘法标准式的逻辑函数表达式）

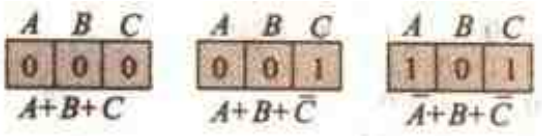
说明由下列真值表求出的乘法标准式的逻辑函数表达式：



在求加法标准式的逻辑函数表达式时，关注输出为 1 的情况考虑为简单积，但这里注意输出为 0 的情况。



输入为 0 则保持原样，为 1 则反相，这样求出简单和。



若取求得的所有简单和之积，则得到所需的逻辑函数表达式。

$$X=(A+B+C)\cdot(A+B+\overline{C})\cdot(\overline{A}+B+C)$$

小明　由输出 1 较少的真值表求逻辑函数表达式时，选用加法标准式的方法，而处理输出 0 较少的真值表时，选用乘法标准式的方法效率高。

博士　小明的说法也有一定的道理。然而，乘法标准式跟加法标准式相比，逻辑函数表达式的化简更复杂。用卡诺图化简逻辑函数表达式时，加法标准式也是作为基准。因此，实际上经常使用加法标准式。



例题 1

① 试求下列真值表的逻辑函数表达式（加法标准式）。

② 试化简求出的逻辑函数表达式。

A	B	C	X
0	0	0	1
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

逻辑函数表达式 → 加法标准式 → 化简

解答

① 注意输出为 1 的情况，求出的简单积与逻辑和有关。

A	B	C	X
0	0	0	❶
0	0	1	❶
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	❶
1	1	1	0

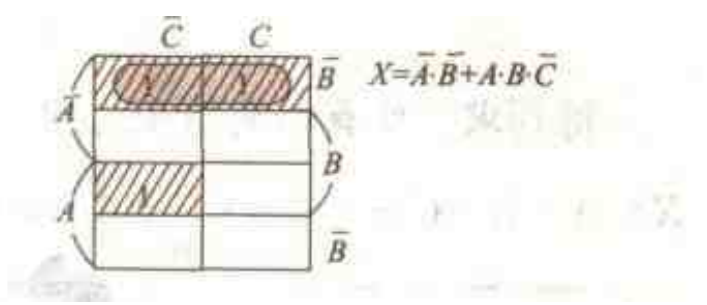
$\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot\overline{C}$

$\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot C$

$X=\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot\overline{C}+\overline{A}\cdot B\cdot C+A\cdot B\cdot\overline{C}$

$A\cdot B\cdot\overline{C}$

② 用卡诺图进行简化。



例题 2

① 试求出下列真值表的逻辑函数表达式（乘法标准式）。

② 试化简求出的逻辑函数表达式。

A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

逻辑函数表达式 → 乘法标准式 → 化简

解答

① 注意输出为 0 的情况，求出的简单和与逻辑积有关。

A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

$A+B+C$

$A+B+\overline{C}$

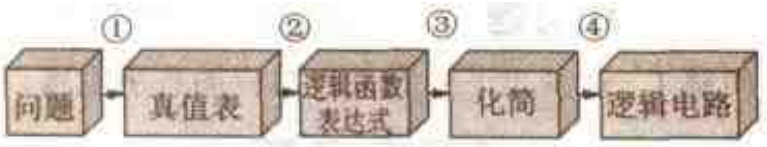
$X=(A+B+C)\cdot(A+B+\overline{C})$

② 将逻辑函数表达式展开并化简。

$$\begin{aligned}X&=(A+B+C)\cdot(A+B+\overline{C})\\&=A\cdot A+A\cdot B+A\cdot C+A\cdot B+B\cdot B+B\cdot\overline{C}+A\cdot C+B\cdot C+C\cdot\overline{C}\\&=A\cdot(1+B+C+B+C)+B\cdot(1+\overline{C}+C)\\&=A+B\end{aligned}$$

逻辑电路设计步骤

提出 学习了由真值表求逻辑函数表达式的方法。然而，有时也需要根据不同情况自己列出真值表。现介绍根据已知条件画出所用的逻辑电路的步骤。



（逻辑电路设计流程图）

逻辑电路设计步骤

① 仔细考察作为对象的问题，列出对应的真值表。

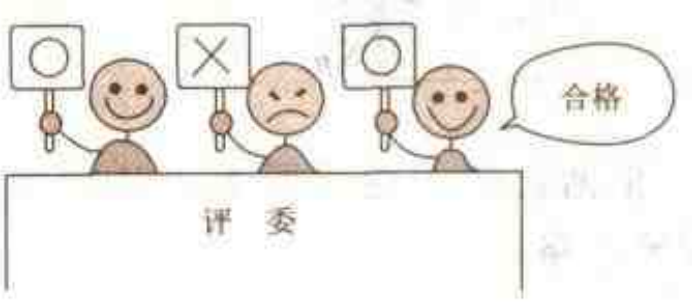
② 由真值表求出逻辑函数表达式（加法标准式或乘法标准式）。

③ 用卡诺图等化简逻辑函数表达式。

④ 由逻辑函数表达式画出逻辑电路。

例题 3

3 位评委中有 2 位以上赞成合格时，可用逻辑电路表示这种评审情况。

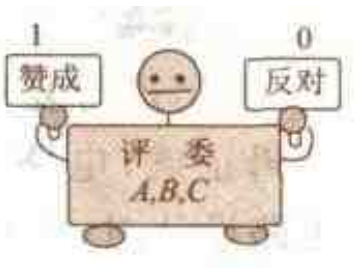


解答

① 列出真值表。

设各评委的意见赞成为 1，反对为 0。并认为评审结果合格为 1，不合格为 0。

评 委			评审结果
A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1





② 求出逻辑函数表达式。

注意输出为 1 的情况，求出加法标准式逻辑函数表达式。

A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

$X=\overline{A}\cdot B\cdot C+A\cdot\overline{B}\cdot C+A\cdot B\cdot\overline{C}+A\cdot B\cdot C$

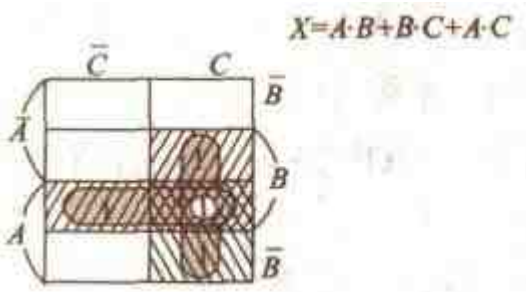
$\overline{A}\cdot B\cdot C$

$A\cdot\overline{B}\cdot C$

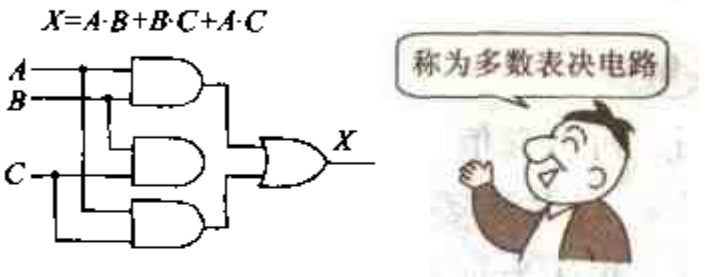
$A\cdot B\cdot\overline{C}$

$A\cdot B\cdot C$

③ 将逻辑函数表达式化简。

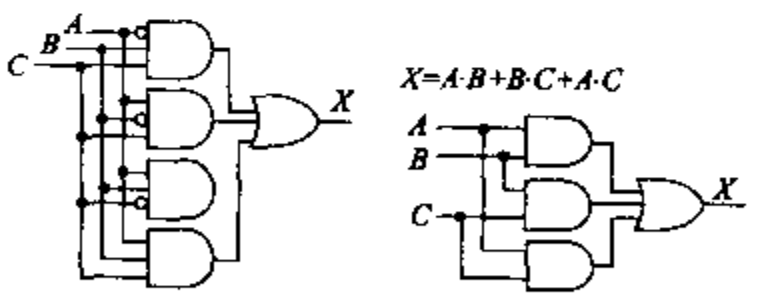


④ 根据化简的逻辑函数表达式画出逻辑电路。



博士　数字电路与模拟电路不同，不用进行复杂的调整，因此，只要逻辑正确，电路几乎都能正常工作。电路设计时，要认真做好逻辑函数表达式的化简，根据最简单的逻辑函数表达式画出电路。即使是工作相同的电路，若逻辑函数表达式不是最简单时，电路中很多器件都是无用的。

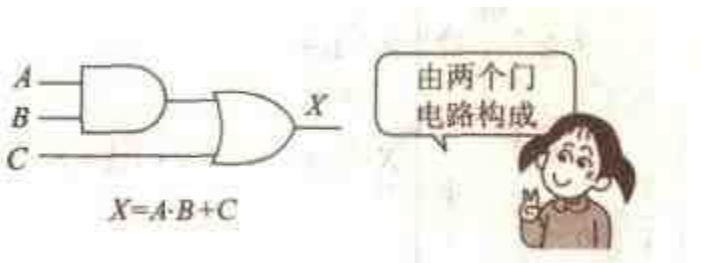
$$X=\overline{A}\cdot B\cdot C+A\cdot\overline{B}\cdot C+A\cdot B\cdot\overline{C}+A\cdot B\cdot C$$



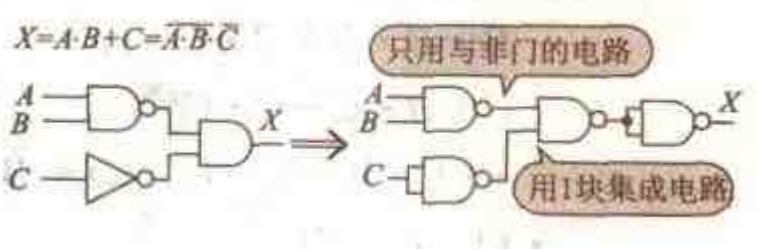
还要注意集成门电路的种类，例如，试根据下列逻辑函数表达式画出逻辑电路：

$$X=A\cdot B+C$$

小丽　我设计的逻辑电路如下：



博士　小丽同学设计的电路正确。实际上，这个电路可用 1 个与门跟 1 个或门组成。另外，可根据德·摩根定律将该电路改为下列形式：



由此可知，该电路仅由与非门构成。1 块与非门电路集成（例如 74LS00）内有 4 个与非门。因此，改进后的电路由 1 块集成门电路构成也能正常工作。

小明　实际组成电路时，也可考虑采用相应的集成电路吧。

练习题

问题 1　试画出下列真值表对应的数字电路。

A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

解答

① 100011001　② $2^4+2^3+2^0-2^0=23$

③ $10\times16^2+13\times16^1+4\times16^0=2772$

$$X=\overline{A}\cdot B\cdot C+A\cdot\overline{B}\cdot C+A\cdot B\cdot\overline{C}+A\cdot B\cdot C$$

$$=A\cdot B+A\cdot C$$

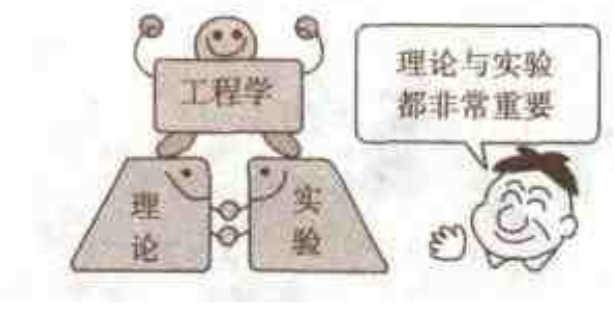
9 实　践

用实验验证数字电路的基础理论



必备工具

博士　至今已经学习了逻辑电路的基础理论。为了牢固地掌握工程学，实验环节是必不可缺的。理解数字电路的工作原理，实验也非常重要。书本中看到的非常简单的电路，若实际做实验时，就容易出错，并发现很多未见的现象。工程学是理论用于实践的学问。不要怕麻烦，掌握焊接等技术，制作实际电路试试。



准备最基本工具如下：

(1) 尖嘴电钳，剪钳

电子制作用的小型工具。



(2) 改锥，小镊子

改锥有多种类型，各自用于不同需要。小镊子是细微工作时不可缺的方便工具。市售有电子制作用的尖镊子。



(3) 电烙铁，烙铁架

电烙铁用 15～20W，烙铁头用陶瓷型。烙铁架也是必备工具，以免不注意时烙铁发热烧毁其他设备。

(4) 吸锡线

焊接出错时，可用吸锡线吸去错焊处的焊锡，它是必备工具。



(5) 万用表（电路测试器）

万用表用数字式或模拟式均可。



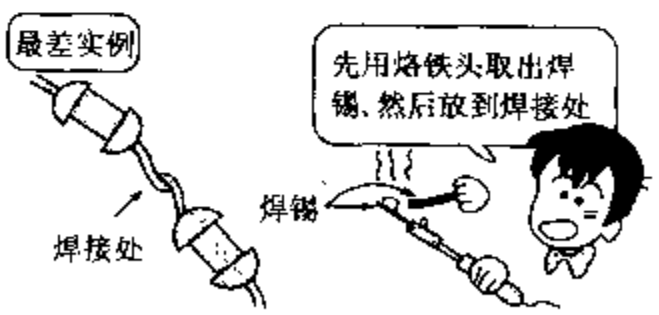
数字式万用表　　模拟式万用表

此外，还需要得到稳定 5V 直流电压的电源装置。具体内容以后介绍。

要精通焊接技术

博士　电子制作时，最主要也是最基本的是焊接技术。可惜啊，初学者中精通焊接技术的人不多。

小明　看看我的焊接技术。



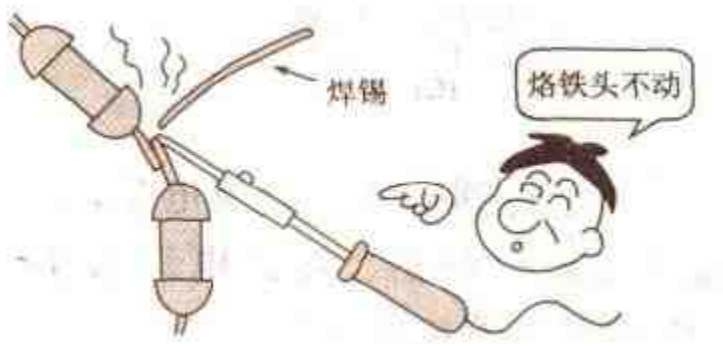
博士　焊锡中有助焊剂，也称焊油。对于小明的做法，助焊剂在焊接前由于温度高而熔化掉了，起不到助焊的作用。另外，焊锡熔化而流到焊接处时，焊接处也要加热，才能焊接牢靠，所以这种做法是不可取的。现传授焊接秘诀。

焊接秘诀

① 将烙铁头放在焊接处停留数秒钟。



② 保持在原地不动，使焊锡在烙铁头与焊接处适量熔化。



③ 确认一下焊锡熔化了并流到焊接处。这时，千万不要拿走烙铁！烙铁头仍放在焊接处，等 2 秒后再拿走。

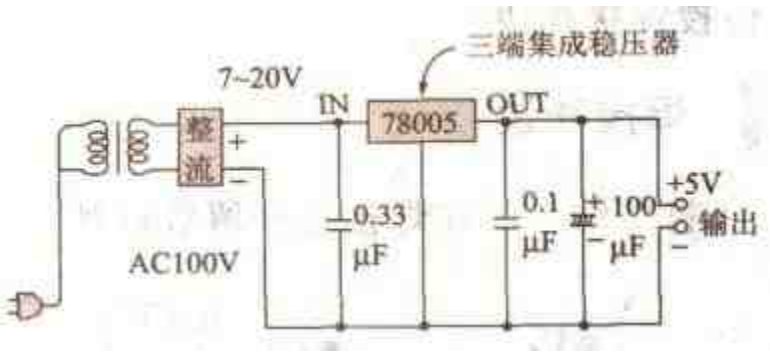


制作实际电路之前，多练习几次焊接。

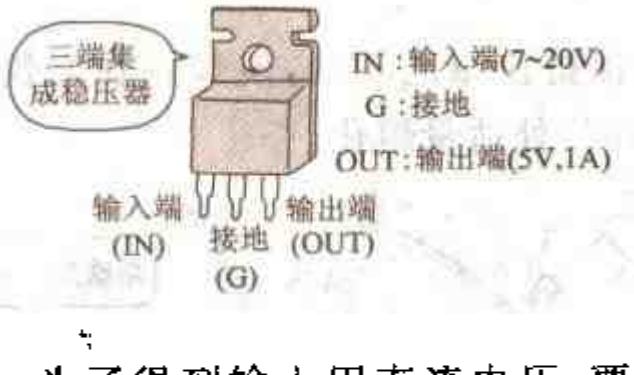
直流电源装置

博士　由于有人不清楚得到

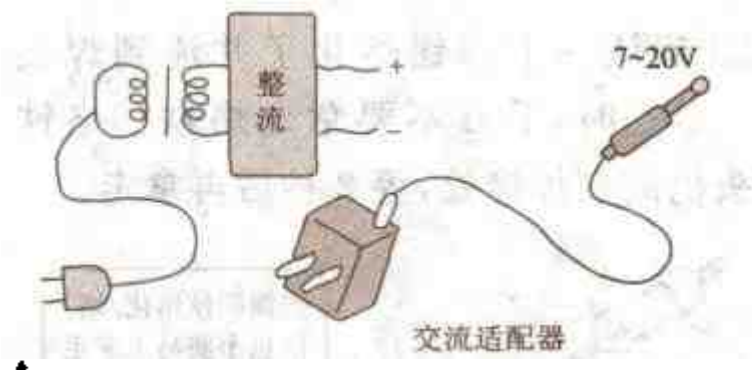
5V 直流电压的电源装置，这里，说明一下用三端集成稳压器制作简单电源装置的方法。



所谓三端集成稳压器是从直流输入电压范围中得到稳定输出电压的器件。



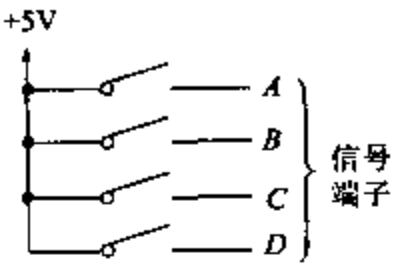
为了得到输入用直流电压，要用盒式交流适配器。输出电压为 7～20V 的适配器比较适宜。



输入信号用开关电路

博士　试制作数字电路中输入信号是 0 或 1 的开关电路。这里实验用正逻辑，即信号 1 对应 5V，信号 0 对应 0V。

小丽　我设计的电路如下：

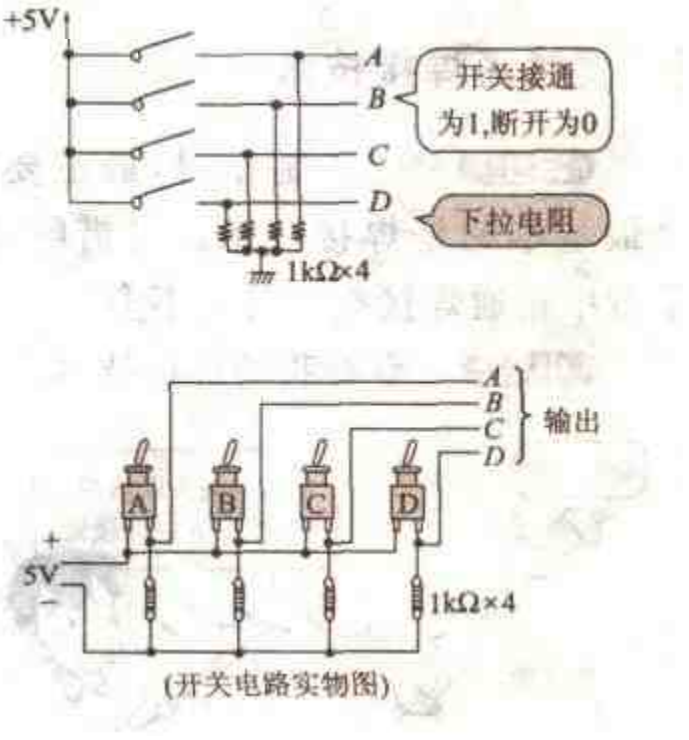




博士　在小丽同学设计的电路中，开关接通时输出为 5V，但开关断开时无任何信号输出。但在通常数字电路中，信号 0 对应 0 电位即认为是接地。若无任何输出信号，则数字电路工作就不稳定，因此，要注意这一点。



这样，设计的信号输入开关电路如下：

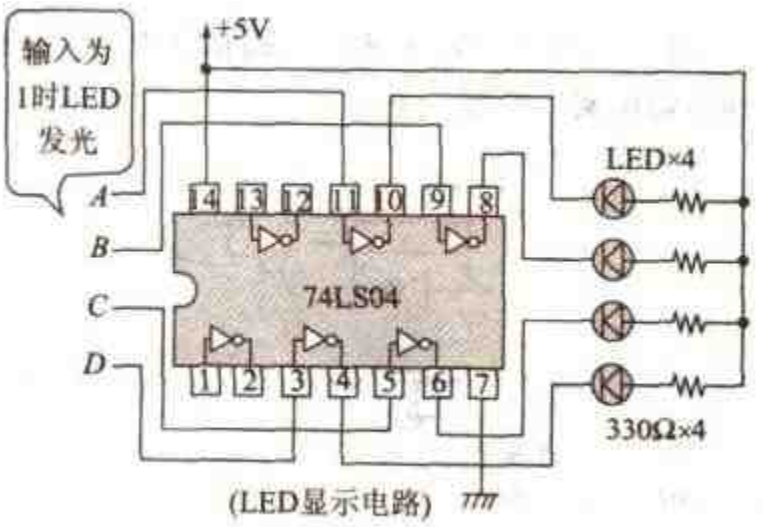


电路中开关用速断开关即可。制作好的电路在接入直流电源之前，要用万用表检查连接线，若接线正确无

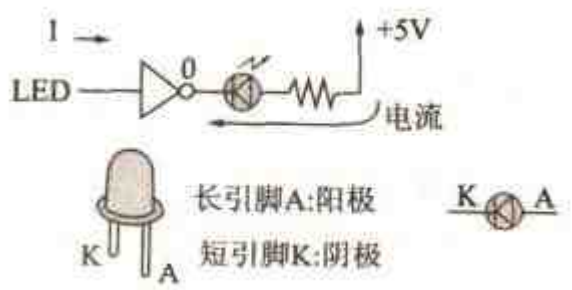
误，再接上制作好的电源装置，用万用表检测一下端子输出电压。

输出显示电路

博士 下面来制作逻辑电路的输出显示电路。要知道输出情况，用万用表测量输出端是否输出 5V 电压即可，但很麻烦。多个输出端的输出情况不能同时观察到，因此，可以制作用 LED 显示输出的电路。



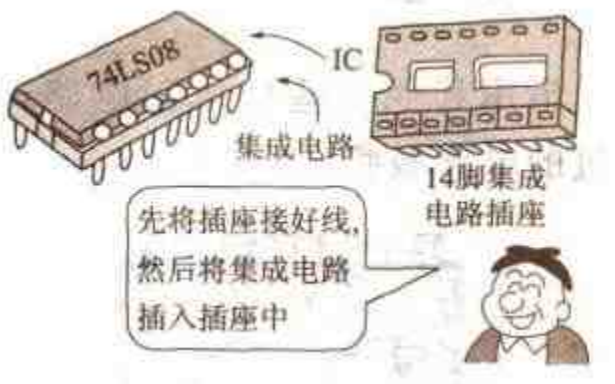
这里用 4 个 LED，若有多余 LED，也可增加 LED 数目。



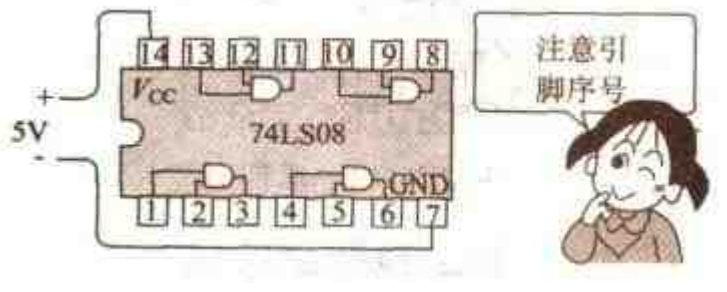
做实验

小明 准备完毕。来吧，开始做实验。

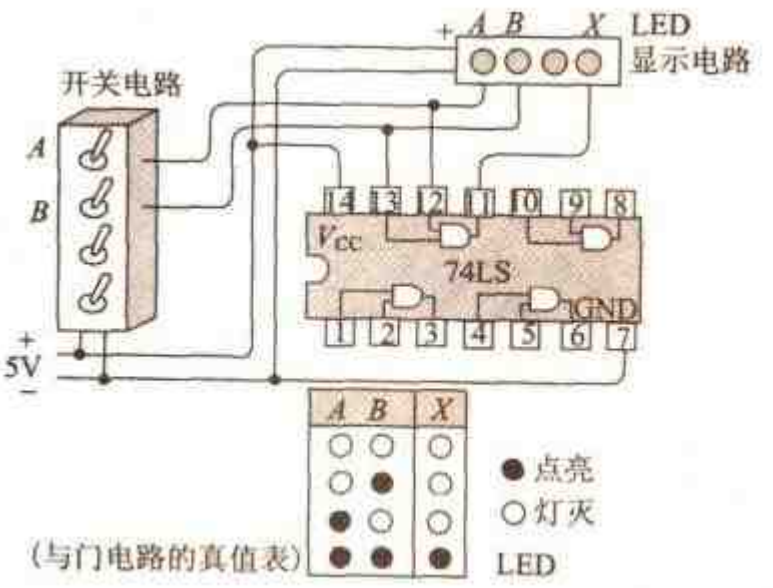
博士 那就从与门电路开始做实验。集成与门电路有 74LS08 等。集成电路等半导体的弱点是耐热性差。普通焊接由于热损坏的情况不多，但要小心，实际中经常使用集成电路的插座。



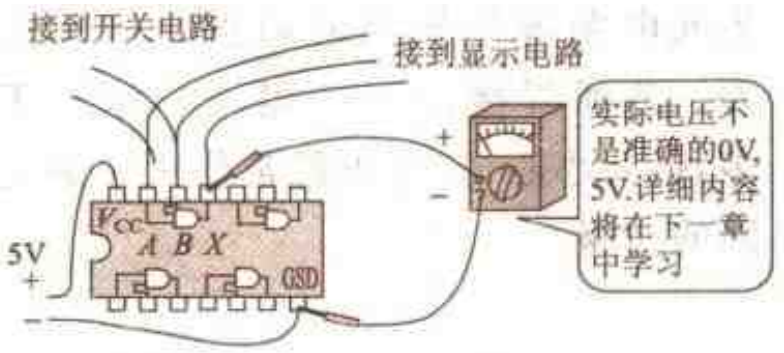
小丽 先要接入集成门电路的工作电源。



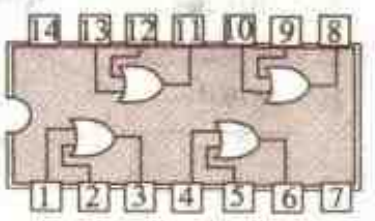
博士 接入先前制作好的输入信号用开关电路和输出显示电路，根据真值表观察与门电路的工作情况。



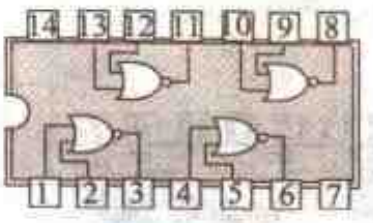
再用万用表验证一下输出 0 电平时为 0V，输出 1 电平时为 5V。



请用其他一些集成门电路，对已学过的电路做些实验。



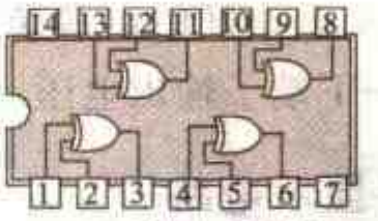
74LS32 (2输入或门)



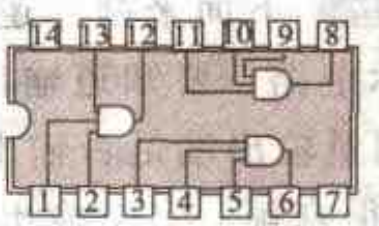
74LS36(2输入或非门)



74LS34(缓冲器)



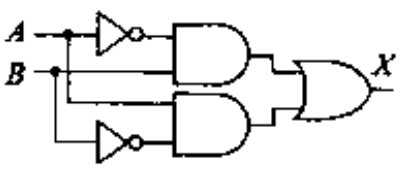
74LS86(2输入异或门)



74LS11(3输入与门)

练习题

问题 1　下列 2 个异或门电路的工作状态相同，请用实验验证一下。





AND　:74LS08
OR　:74LS32
NOT　:74LS04
EX-OR :74LS86

Q 挑战题

1. 试将下列二进制数转换为十进制数：

   ① $(101110)_2$

   ② $(1010111)_2$

2. 试将下列二进制数转换为十六进制数：

   ① $(111011)_2$

   ② $(1000110011)_2$

3. 试将下列十进制数转换为二进制数：

   ① 289

   ② 5198

4. 试将下列十六进制数转换为二进制数：

   ① $(AC9)_{16}$

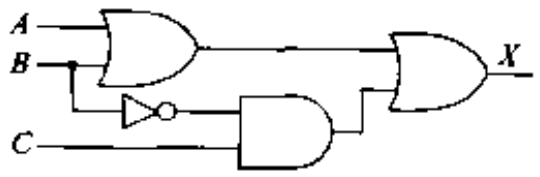
   ② $(6FF)_{16}$

5. 试写出三变量的德·摩根定律的表达式。

6. 试将下列逻辑函数表达式展开并化简：

   $X=(A+\overline{B}+C)\cdot(A+B+\overline{C})$

7. 对下列逻辑电路回答下述问题：



   ① 试求逻辑函数表达式。

   ② 试用卡诺图将求出的逻辑函数表达式化简。

   ③ 试用文氏图表示化简了的逻辑函数表达式。

   ④ 试列出真值表。

8. 试将下列真值表转换为逻辑函数表达式：

①

A	B	C	X
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	0

②

A	B	C	X
0	0	0	1
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

A 答　案

1 ① 46　　② 87

2 ① $(3B)_{16}$　②$(233)_{16}$

3 ① $(100100001)_2$

② $(1010001001110)_2$

4 ① $(101011001001)_2$

② $(11011111111)_2$

5 $\overline{A \cdot B \cdot C}=\overline{A}+\overline{B}+\overline{C}$,

$\overline{A+B+C}=A \cdot \overline{B} \cdot C$

6 $X=(A+\overline{B}+C) \cdot (A+B+\overline{C})$

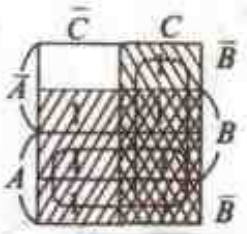
$=A \cdot A+A \cdot B+A \cdot \overline{C}+A \cdot \overline{B}+B \cdot B+\overline{B} \cdot \overline{C}+A \cdot C+B \cdot C+C \cdot \overline{C}$

$=A \cdot (1+B+\overline{C}+\overline{B}+C)+\overline{B} \cdot \overline{C}+B \cdot C$

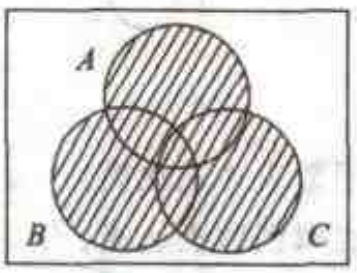
$=A+\overline{B} \cdot \overline{C}+B \cdot C$

7 ① $X=A+B+\overline{B} \cdot C$

②



③



④

A	B	C	X
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

8 ① $X=\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}+\overline{A} \cdot B \cdot \overline{C}+A \cdot B \cdot \overline{C}$

② $X=(A+B+\overline{C}) \cdot (\overline{A}+B+C) \cdot (\overline{A}+B+\overline{C})$

第 2 章

数字集成电路



博士



小明



小丽

本章学习目的

数字电路可用数字集成电路组成,有关数字集成电路的内容在第1章中稍有些介绍。本章主要介绍实际使用集成电路必备的有关知识。

数字集成电路大致有TTL和C-MOS两种类型,重要的是要理解各自的特征。

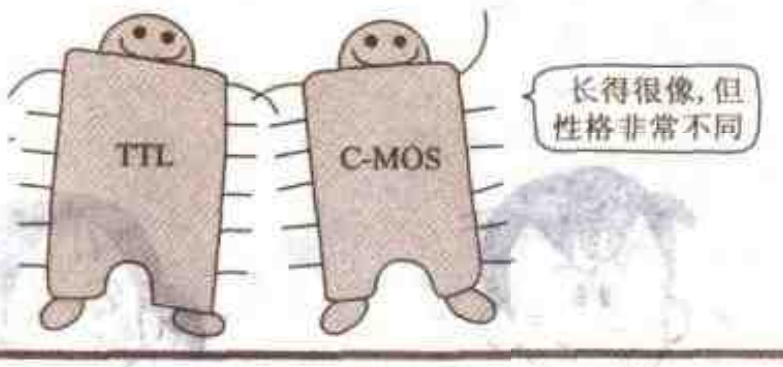
现在有很多种类的数字集成电路在市场出售,使用非常方便。然而,组成实际电路时,一定要查一下规格表,弄清管脚的排列与功能,了解其特征。本章介绍数字集成电路的种类,并说明表的使用方法。另外,还介绍使用集成电路的基本注意事项。 对于具有非常优良性能的集成电路,若使用方法不当也会损坏,因此,要特别注意 重要的是了解集成电路的正确使用方法,充分发挥它的优良性能。

数字电路领域中有一定的规则,只要按要求设计,电路就能正常工作。

本章学习使用数字集成电路需要的基础知识。

1 TTL与C-MOS

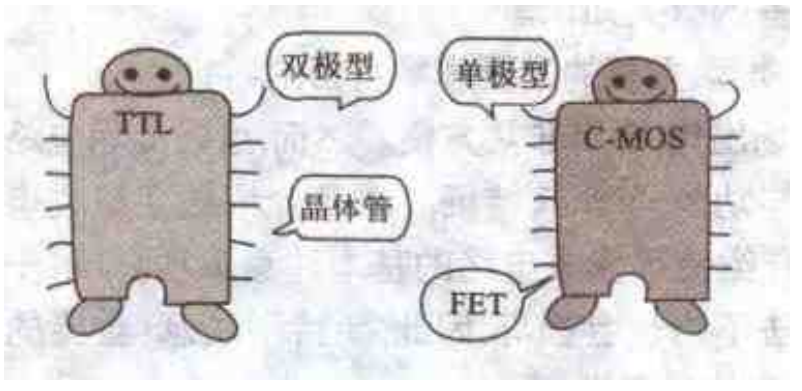
理解两类数字集成电路的不同点



TTL 与 C-MOS 的结构



博士　数字集成电路有 TTL 与 C-MOS 两种类型。例如，集成与门电路也有两类。这两类集成电路的结构与电气性能有很大的不同，使用时，理解各自的特性非常重要。

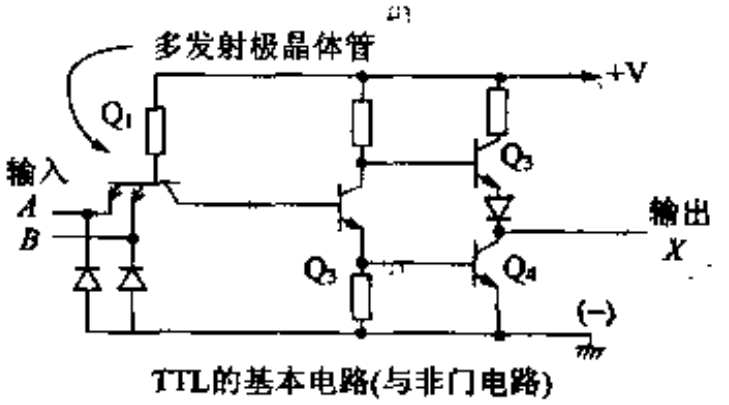


TTL 主要由 NPN 型晶体管构成，而 C-MOS 主要由场效应晶体管(FET)构成。TTL 也称为双极型器件，C-MOS 也称为单极型器件。

小丽　请稍详细介绍一下他们之间的不同点。

博士　结构上不同，先从 TTL 讲起。

TTL 是 Transistor Transistor Logic 的缩写，由晶体管构成，其基本电路如下所示。



TTL的基本电路(与非门电路)

小明　晶体管 Q_1 有两个发射极。

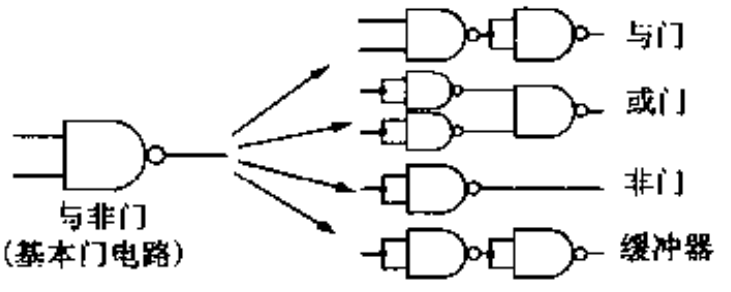
博士　这样有多个发射极的晶体管称为多发射极晶体管。

例如，3 输入与非门电路就使用具

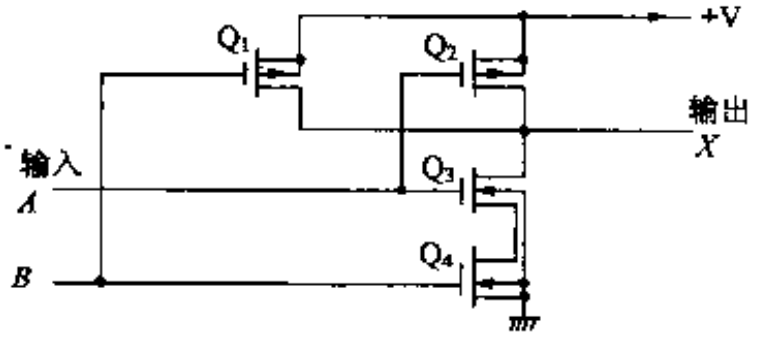
有三个发射极的多发射极晶体管。

小丽 若能构成已学习过的与非门电路，由此也能构成其他的门电路。

博士 是这样。所以，上述的与非门电路称为基本门电路。



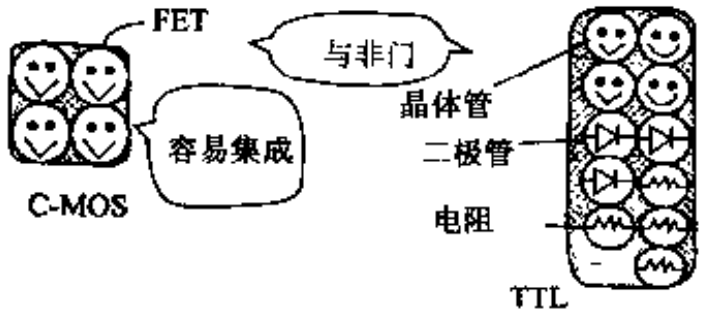
C-MOS 是 Complementary Metal Oxide Semiconductor 的缩写，其基本电路如下所示：



C-MOS基本门电路(与非门)

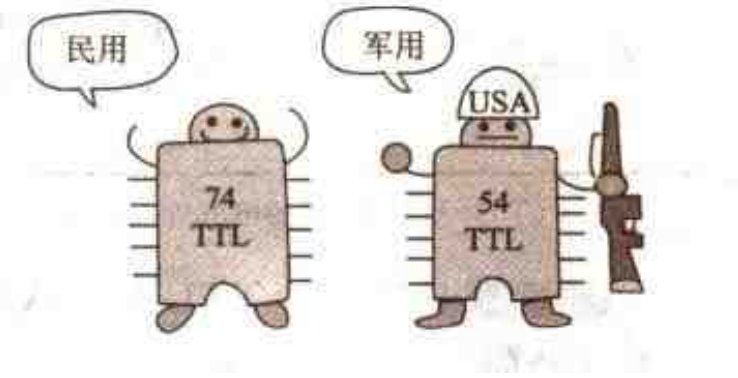
小朗 C-MOS 电路的元件少而且简单。

博士 所以，C-MOS 电路从结构上看易于集成而且容易制造。然而，性能方面与 TTL 电路比较有各自的优缺点。



电气性能

博士 TTL 的规格有民用的 74 系列和军用的 54 系列。



当然，军用规格集成电路可在更恶劣条件下使用。然而，对于我们来说，用民用规格就足够了。因此，从现在起 TTL 电路主要介绍 74 系列。

TTL 与 C-MOS 的最大额定参数示于下表中：

项目 \ 标准系列	TTL	C-MOS
电源电压	7V	20V
输入电压	5.5V	电源+0.5V
工作温度	0～70℃	−40～85℃
保存温度	−65～150℃	−65～150℃

(TTL 与 C-MOS 的最大额定参数)

若使用时超过最大额定值，集成电路就会损坏，请注意这个问题。

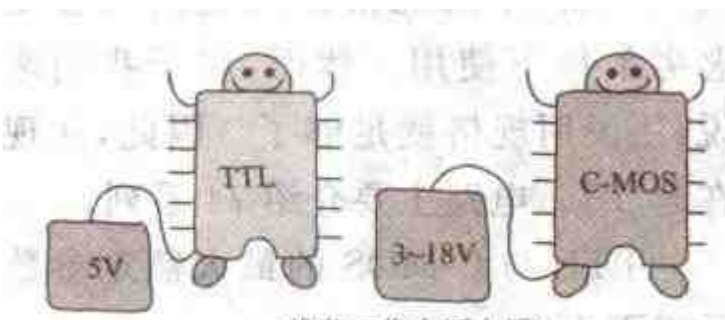
小朗 TTL 最高电源电压为 7V，但 C-MOS 的电源电压最高到 20V 也能工作。

博士 是这样的。这方面 TTL 与 C-MOS 有很大不同。

项目 \ 标准系列	TTL	C-MOS
输入电阻	4 kΩ	非常高
传输延迟时间	10 ns	约150ns
消耗功率	10mW(每个门)	随条件不同而异，但比TTL消耗功率低

(TTL与C-MOS的电气性能)

博士 下面对TTL与C-MOS的电气性能进行详细比较。



(推荐工作电源电压)

小丽 什么是传输延迟时间呢?

博士 这是从门输入端加信号到输出端输出信号的时间。

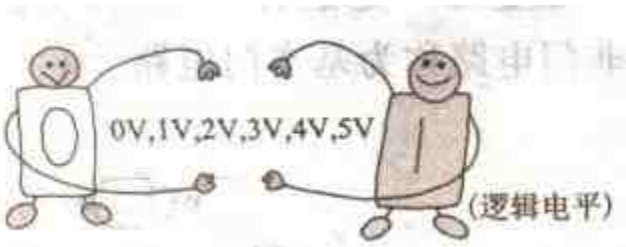
小明 传输延迟时间越短性能越好。

小丽 在这点上TTL电路优于C-MOS电路。

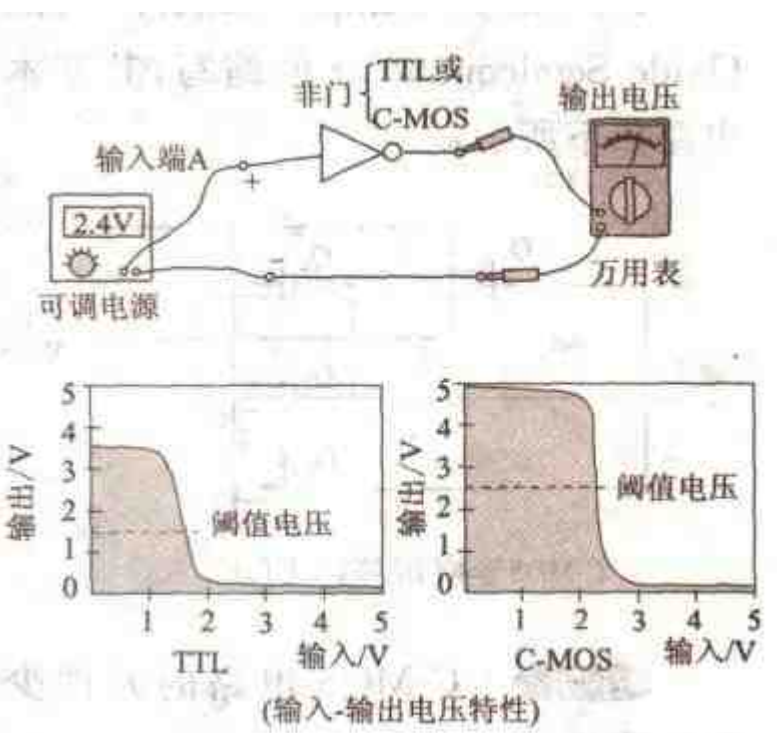


小明 从现在开始，考虑为正逻辑电路，即电压0V为逻辑电平0，5V为逻辑电平1。对于实际的数字集成电路，1电平与0电平的分界线是几伏呢?

博士 这个问题提的非常好。区分1与0的电压称为逻辑电平。



例如，制作下述那样的电路，在输入端A施加从0V升到5V的电压。这时输入-输出电压特性如图所示：



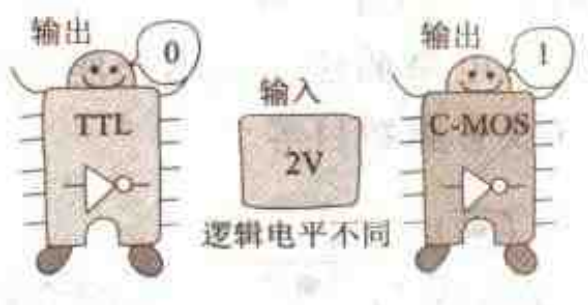
(输入-输出电压特性)

小丽 输入电压0V，即逻辑电平0时输出逻辑电平为1。这时TTL输出电压约3.5V，C-MOS约5V。由此可知，TTL与C-MOS表示输出1的电压是不同的。

博士 就是这种情况。对于TTL，输入电压稍超过1V，就可判断输入电平为0，但C-MOS的输入电压至少要超过2V，才能判断输入电平为0。

TTL 与 C-MOS 混合组成电路时，要充分注意这一点，有关这个问题将在后述章节中介绍。

请再回过头来看一下上述的输入-输出电压特性。输入与输出电压相等处的电压称为门槛电压或阈值电压。可认为阈值电压是逻辑电平 0 与 1 的分界电压，但 TTL 的阈值电压比 C-MOS 的低。



小丽 C-MOS 的输入电阻非常高。

博士 是的。C-MOS 输入端采用 MOS 型 FET 门构成。MOS 型 FET 的输入阻抗非常高。输入阻抗高就意味着几乎不需要电流，这也是其优点，但 C-MOS 输入端约有 5pF 的电容，因此，有时由于电荷的积累而损坏 FET 门。

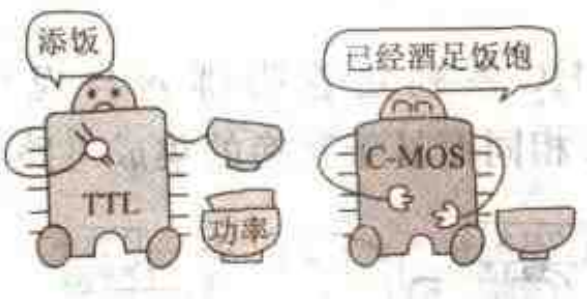
小明 这就是 C-MOS 易受静电破坏的原因。

博士 使用 C-MOS 型集成电路时，要注意不要用手接触管脚。保存时也要考虑用铝箔将其包好，或插在导电海绵上，防止静电使其损坏。



小丽 消耗功率方面如何呢？

博士 C-MOS 的消耗功率小，这是 C-MOS 的最大优点。



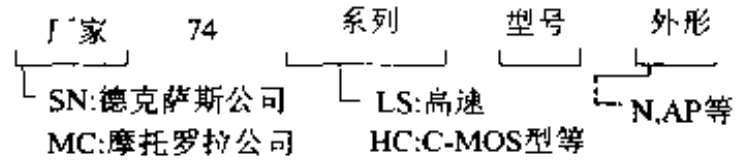
小明 现将 TTL 与 C-MOS 的不同点归纳整理如下：

项目	TTL	C-MOS
输入阻抗	低	高
工作电压	5V	3～18V
速率(传输延迟时间)	快(短)	慢(长)
阈值电压	约 1.5V	约 2.5V(电源电压 5V)
消耗功率	大	少

(TTL 与 C-MOS 之比较)

74 系列与 4000 系列

博士 TTL 常用 74 系列。74 系列名称意义如下：



(74系列名称实例)

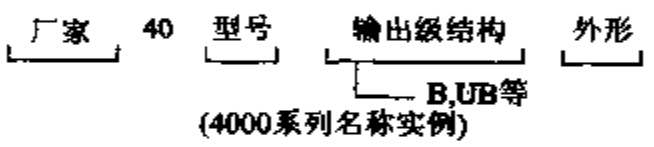
74 系列最初只有 TTL，其后开发了 C-MOS 型 HC 系列。它既具有 C-MOS 型的优点，又具有 TTL 速率高的特点。



HC 系列是管脚排列与现在的 TTL 相同而易于互换的集成电路。



C-MOS 常用 4000 系列。4000 系列名称意义如下：

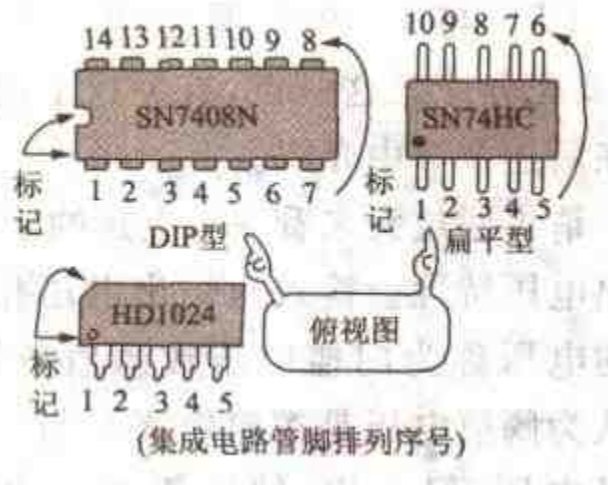


集成电路封装形式

博士　集成电路有如下封装形式：



管脚排列序号如图所示：



我认为 DIP 使用方便。为了避免焊接时的热损坏以及便于互换，经常使用集成电路插座。使用插座时要注意尺寸及管脚数目等。



练习题

问题 1　在以下几方面试将 TTL 与 C-MOS 进行比较。

①集成化 ②工作电压 ③阈值电压 ④消耗功率

解答

参考本章内容。

2 使用集成电路注意事项(1)

主要学习集成电路的正确使用方法



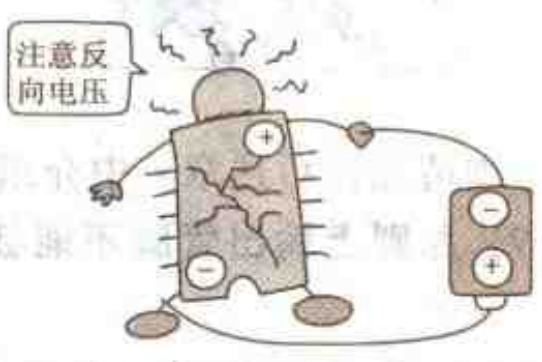
一般注意事项

博士　用集成电路可简单构成数字电路。这里，说明使用集成电路的注意事项。集成电路的性能即使非常高，若不按要求使用也会损坏。

集成电路使用注意事项

(1) 使用时不要超过最大额定电压与电流

集成电路的反向耐压低，因此，尤其要注意电源电压的极性。



(2) 要掌握好焊接时间，1 个管脚的焊接时间在 10 秒以内



集成电路耐热的最大定额通常是温度 260℃、时间 10 秒。烙铁温度是 250～300℃，因此，若超过 10 秒会引起管脚发热，则可能损坏集成电路。

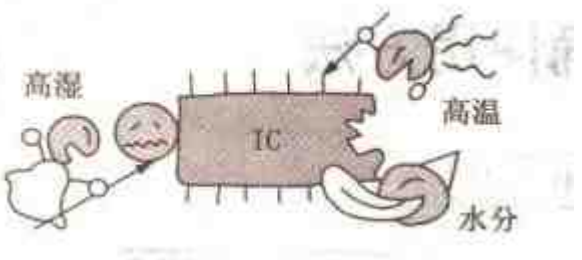
(3) 集成电路的管脚不得折弯

集成电路的管脚不得折弯，根部尤其是这样，否则管脚易折断。



(4) 避免在高温、高湿场所使用与保存

集成电路置于高温、高湿处，有时水分通过塑料封装渗到集成电路内部。



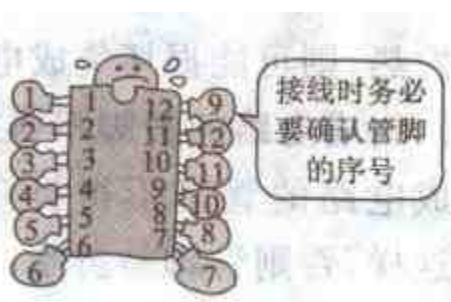
(5) 避免机械冲击

最近的集成电路耐机械振动虽相当强，但不要过于自信。过度冲击也会使集成电路损坏。



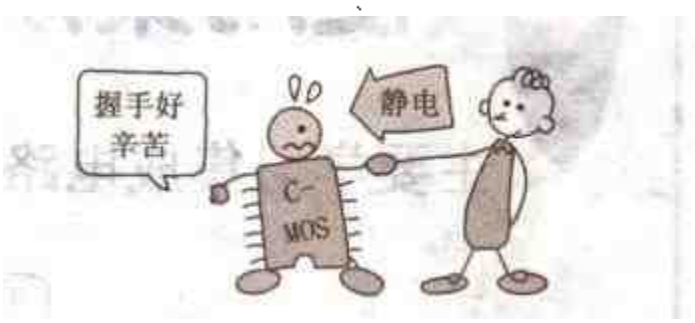
(6) 管脚序号不得搞错

集成电路的管脚较多，接线时一定要仔细地确认管脚的序号，不得弄错。



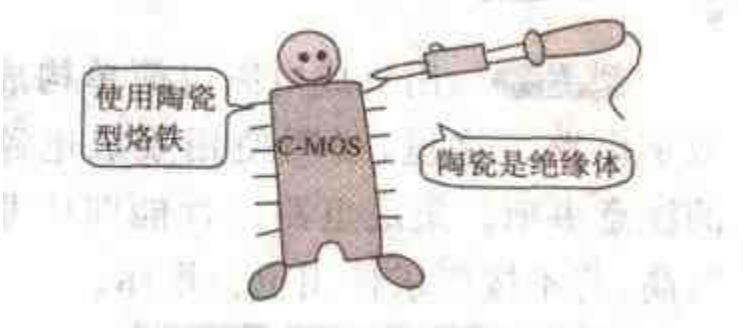
(7) 注意防止静电对 C-MOS 输入端的破坏

前面介绍过 C-MOS 的输入端具有一定容量的电容，因此，要注意防止电容积累电荷所产生的高压损坏 C-MOS 的输入端。最近的 C-MOS 的产品内虽设有抗静电的保护电路，但这不意味着可用手触摸 C-MOS 的管脚。

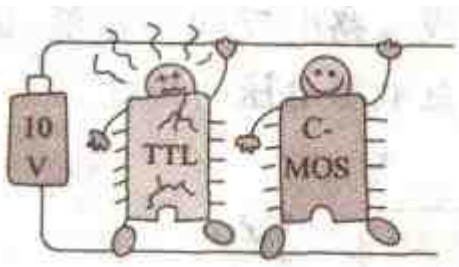


另外，若使用金属型烙铁，则形成静电电流。因此，焊接 C-MOS 时要使用陶瓷型烙铁。

保存 C-MOS 时要用铝箔包好，插入导电海绵中。



(8) 电路中 TTL 与 C-MOS 混在一起使用时，要充分注意电源电压大小及逻辑电平等



详细情况在后述章节中介绍。

(9) 原则上输出管脚不能彼此连接

使用时电流超过最大额定值，集成电路就会损坏。

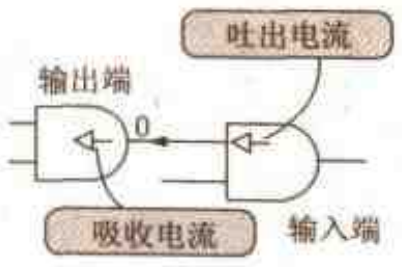


还有不要带电作业，即接线时不要忘记切断电源，这与一般电子器件使用时注意事项相同。

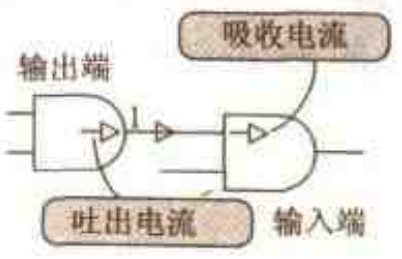


扇出(TTL)

博士 考察TTL的输出端与其他门电路输入端连接的情况。输出端逻辑电平0时，有电流从输入端流向输出端。这时，从输入端流出的电流称为吐出电流，流入输出端的电流称为吸收电流。



输出端逻辑电平1时，有电流从输出端流向输入端。

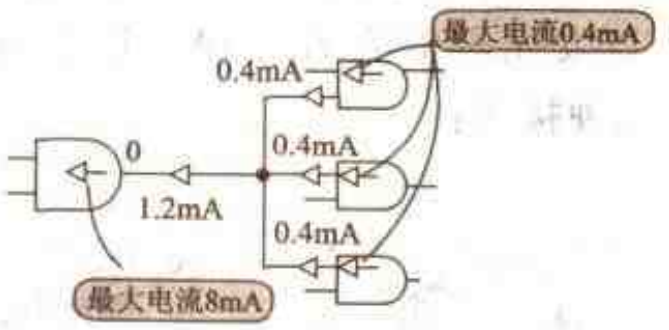


这时，从输出端流出的电流称为吐出电流，流入输入端的电流称为吸收电流。

小明 请教一下实际吐出电流与吸收电流的大小。

博士 74LS系列输入端吐出电流最大为0.4mA，吸收电流最大为20μA；输出端的吐出电流最大为400μA，吸收电流最大为8mA。

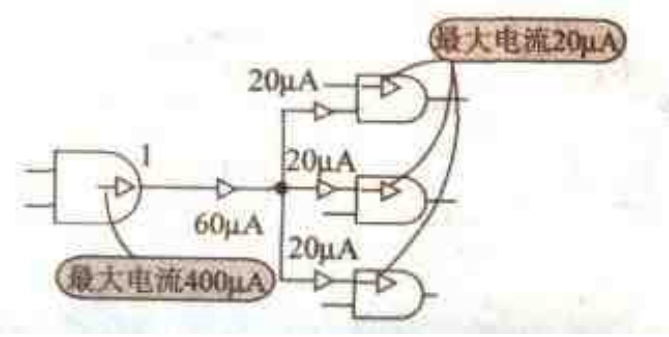
小丽 例如，将一个门电路的输出端接另外门电路的三个输入端情况下，输出端逻辑电平0时，电流分配情况如下图中所示：



小明 输出端吸收电流最大为8mA，因此，连接输入端数目就不能无限制地增多。

博士 是的。若每1端的吐出电流为0.4mA，则输出端逻辑电平0时，最多能接的输入端为8mA÷0.4mA=20个。该数称为扇出系数。

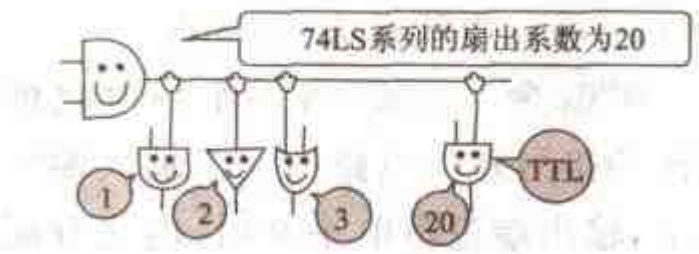
小丽 输出端上接三个输入端的情况下，输出端逻辑电平1时，电流分配情况如下图中所示：



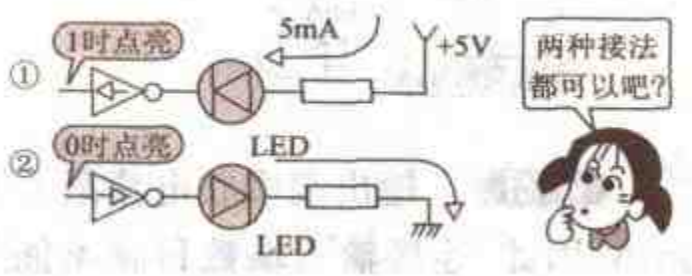
博士　请计算这时的扇出系数。

小明　由于输出端吐出电流最大为 400μA，则计算的扇出系数为 400μA÷20μA＝20。

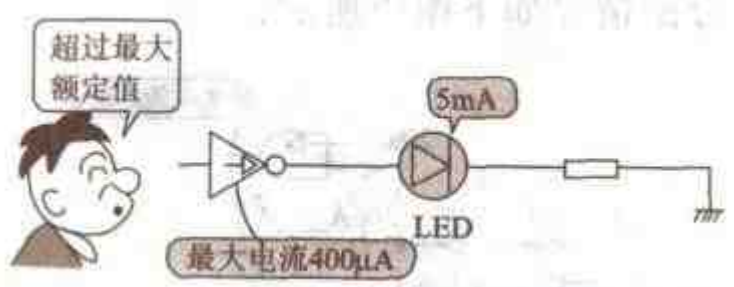
博士　所以，74LS 系列的 1 个输出端最多可以接 20 个输入端。



试考察输出端接 LED 的情况。LED 发光时电流为 5mA。试分析下列两种接法：



小丽　第①种接法，由于输出端的吐出电流最大为 8mA，这种接法没有问题。而第②种接法，LED 发光时电流为 5mA，超过输出端最大 400μA 的吐出电流，因此，不能这样接法。

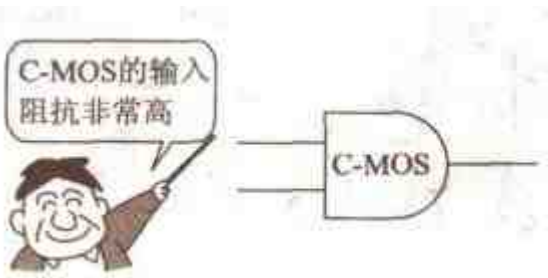


博士　使用集成电路时，要充分考虑到吐出电流与吸收电流。

扇出(C-MOS)

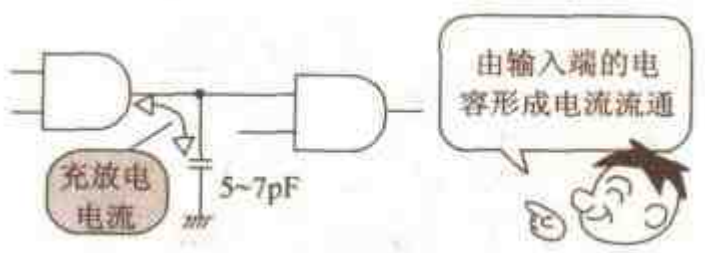
博士　再考察 C-MOS 的扇出情况。

小丽　C-MOS 的输入阻抗非常高，因此，几乎不需要流入电流。



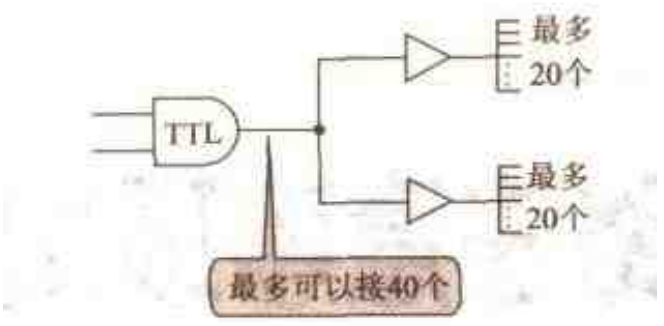
小明　不用考虑扇出系数，那么，1 个输出端可以接很多输入端吧。

博士　不是这么回事。C-MOS 的输入端有电容。当输入逻辑电平由 0 变为 1，或由 1 变为 0 时，电容有充放电电流流通。为此，C-MOS 的扇出系数可按 50 左右考虑。



输出端的扩展

博士　也有这种接法，即 1 个输出端接的输入端数量超过扇出系数。

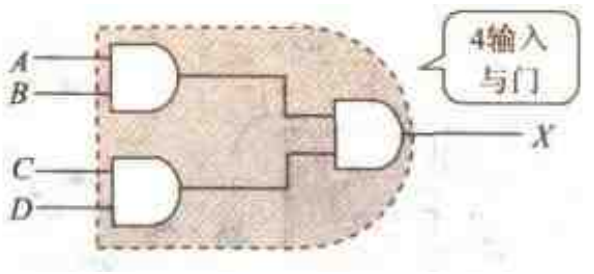


小明 这时可接入缓冲器增大输出端的驱动能力。

输入端的扩展

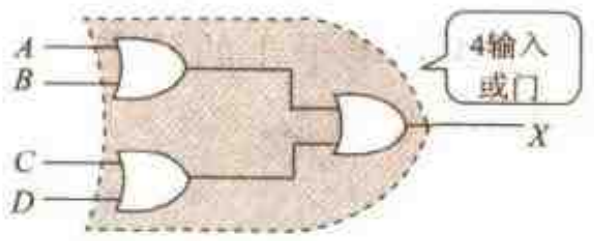
小丽 博士，输入端该如何做呢？

博士 试考察输入端的扩展。例如，用 2 输入与门构成多输入与门电路。



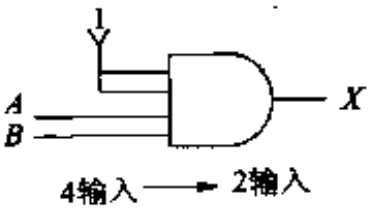
2输入 ——▸ 4输入

小丽 同样，或门输入端也可以扩展。

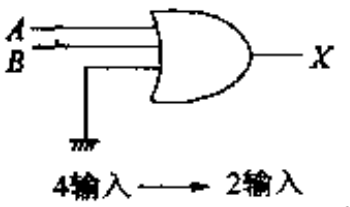


2输入 ——▸ 4输入

博士 反之，为了减少多输入端与门的输入管脚数目，未用输入端接高电平即可。



小明 对于或门电路，未用输入端接低电平即可。



练习题

问题 1 1 个输出端接的输入端数目是有限的，试对 TTL 与 C-MOS 说明各自的理由。

解答

对于 TTL，由吸收电流与吐出电流的最大值决定。对于 C-MOS，由于输入端有电容，需要考虑电容的充放电电流。为此，TTL 的 1 个输出端接的输入端数目最多为 20 个，C-MOS 为 50 个左右。

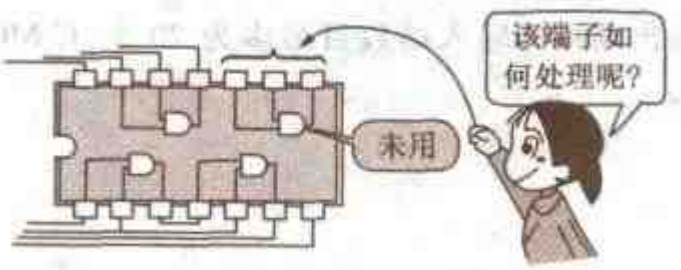
3 使用集成电路注意事项(2)

主要学习正确使用集成电路的知识



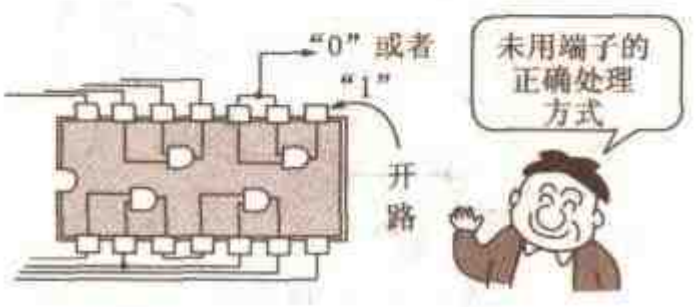
未用端子的处理

小丽　例如，在 1 片集成电路中封装有 4 个与门，只使用 3 个与门，剩下的 1 个与门这时如何处理呢？



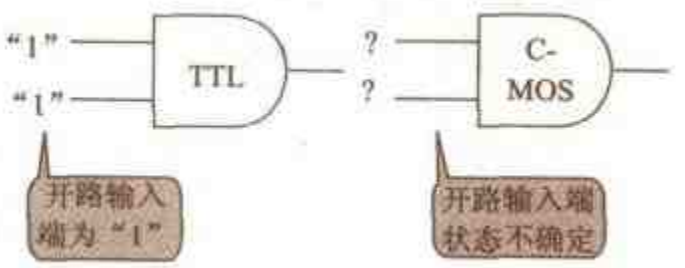
保持原样开路（即不接任何地方）状态就可以了吗？

小丽　未用门的端子开路时，实际中出问题的也不多。然而，原则上未用输入端要接低电平或高电平，输出端开路，这也是 TTL 与 C-MOS 共同的处理方式。



小明　对于什么都不接的输入端，考虑为何种状态呢？

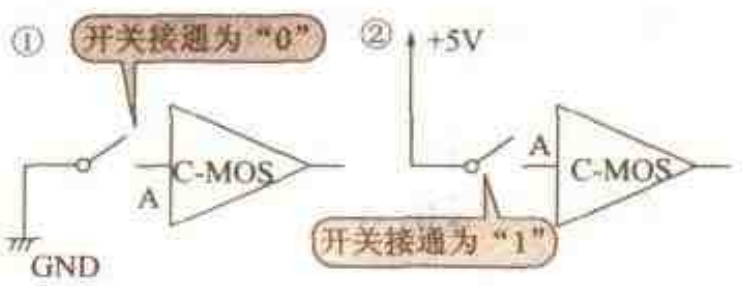
博士　开路输入端对于 TTL 可考虑为逻辑电平 1 的状态，对于 C-MOS 为不确定状态。



总之，输入端开路是故障源，因此，要适当的接低电平或高电平。

上拉电阻

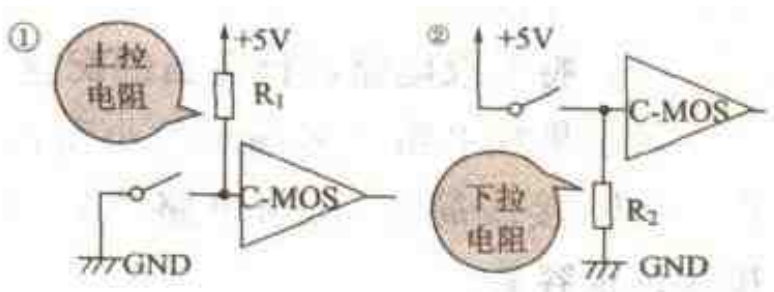
博士　试考察下述电路：



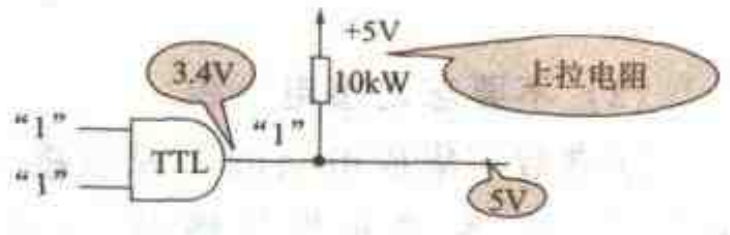
若开关接通，端子 A 的状态(C-MOS 输入端)为 0 电平(电路①)，或为 1 电平(电路②)。然而，开关断开时，端子 A 为开路状态。

小丽　对于 C-MOS，输入端开路时为不确定状态吧。

博士　是这样的。若接入电阻 R，如下图所示，当开关断开时，端子 A 通过电阻接 1 电平(电路①)或接 0 电平(电路②)。这种电阻称为上拉电阻，或者下拉电阻。



另外，TTL 输出 1 电平时实际电压低于 5V 时，若使用几十千欧[姆]上拉电阻，则可使输出电压上拉到 5V 左右。

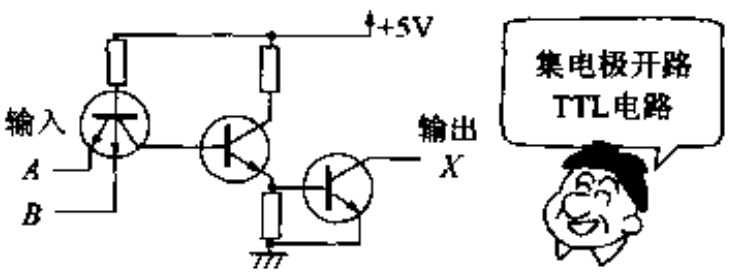


在接线较长情况下，由于噪声与电压降的影响使信号出错，电路不能正常工作时，只是接 1 个上拉电阻就能使电路恢复正常工作状态，这种情况也不少见。



集电极开路

博士　有的 TTL 输出级晶体管的集电极是悬空的，将它作为输出端，这样的 TTL 称为集电极开路集成电路。



集电极开路集成电路内没有输出负载电阻，这样，不能从输出端取出信号。

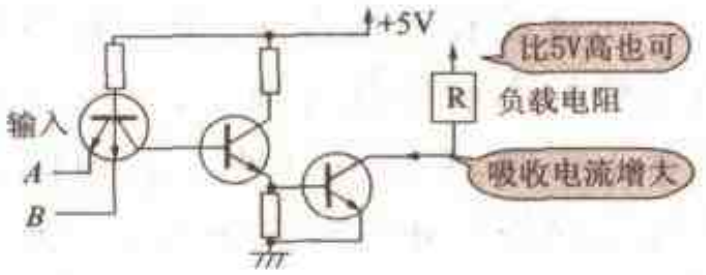
也就是说，需要在输出端与电源之间外接负载电阻(上拉电阻)。

小丽　使用集电极开路 TTL 这么不方便，有何优点呢？

博士　有以下三大优点：

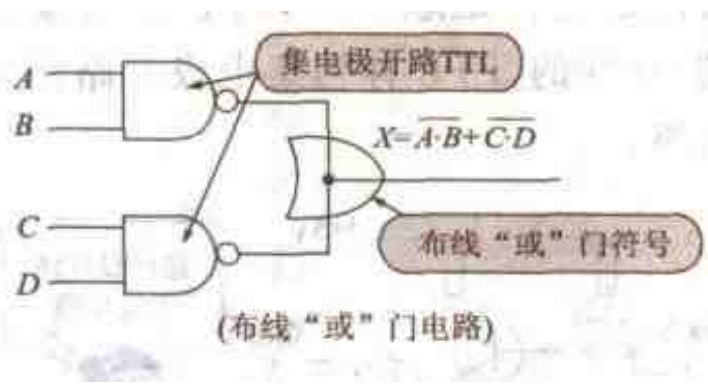
① 输出端(集电极)通过负载电阻接的电源电压也可以比 5V 高。

② 输出端(集电极)为 0 电平时吸收电流增大。



③ 可构成“线或”电路。

前面讲过，原则上集成门电路输出端彼此不能连在一起。然而，对于集电极开路的集成门电路，输出端彼此可以连在一起。例如，若将集电极开路 TTL 的输出端连在一起，如下图所示，则输出逻辑函数表达式 $X=\overline{A \cdot B}+\overline{C \cdot D}$。



这样的电路称为布线“或”门电路。

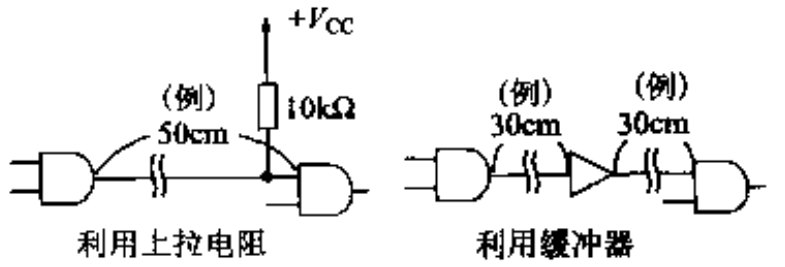
与 TTL 集电极开路类型一样，C-MOS 也有漏极开路型的集成电路。

小明　集电极开路集成电路有何缺点呢？

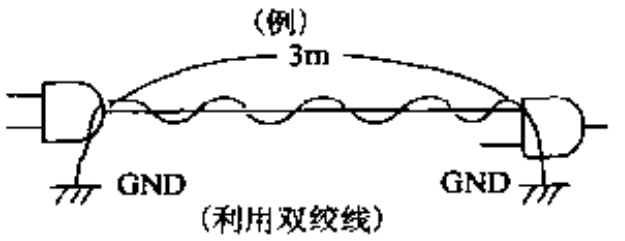
博士　缺点是需要外接电阻，速度（传输延迟时间）慢。

双绞线

博士　在长接线的传输途中，由于噪声等的影响信号出错时，可以考虑利用上拉电阻或缓冲器等。



然而，用这种方法不能解决问题时，利用双绞线很有效。



双绞线将输出侧集成门电路接地管脚与输入侧集成门电路接地管脚连接在一起。

实际接线

博士　数字电路多是由很多集成电路组成的。使用数字集成电路时要考虑实际接线问题。

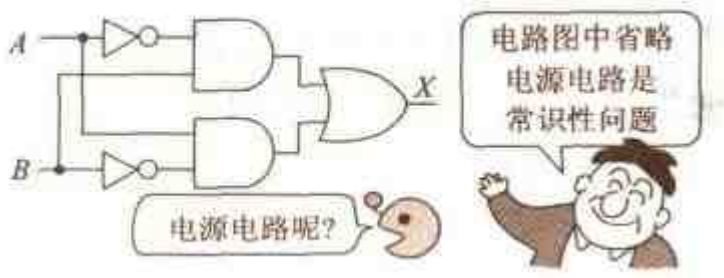
(1) 将集成电路进行适当的配置

数字集成电路是多端子的小型器件，因此，接线简单，而与电路图对应接线也很容易。



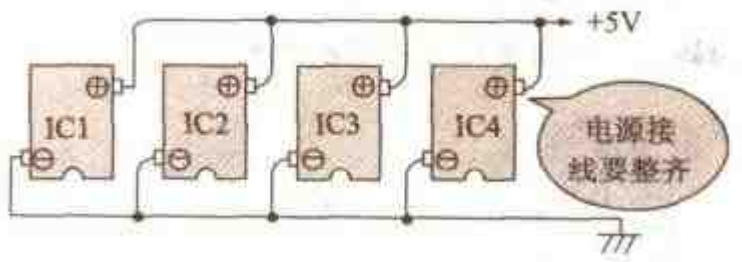
(2) 不要忘记接电源线

通常数字集成电路的电源电路在电路图中省略，要根据规格表等确认电源端子，不要忘记接电源线。



(3) 电源接线要整齐

电源接线要整齐,不要用细导线,以免受电压降的影响。市场上也有销售预先画好电源线图案的印刷板。



(4) 使用旁路电容

对于数字集成电路,在处理的信号从0电平到1电平,或从1电平到0电平变化的瞬间,有较大的瞬时冲击电流。该电流当然从电源装置中获取。然而,集成电路与电源装置之间有一定的距离,也就是说,即使电流流动速度非常快,但从电源装置取出集成电路所需电流也需要一定时间。

供给电流若有延迟,则电路会出现误动作。

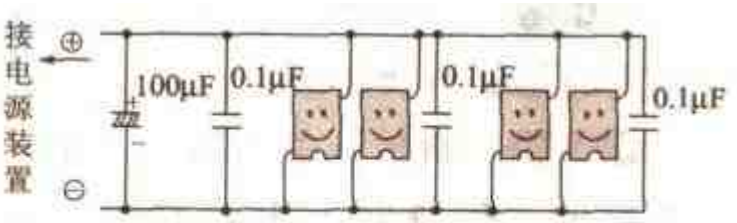


这时,若在集成电路近旁接入电容器,需要的冲击电流从电容器中取出。电容器相当于电源。

这种用途的电容器称为旁路电容器。总电路用旁路电容采用电解电容,容量为几十微法至几百微法,每个集成电路用各种类型电容,容量约为0.1μF。对于电流小的集成电路,可以几个集成电路使用一个旁路电容。



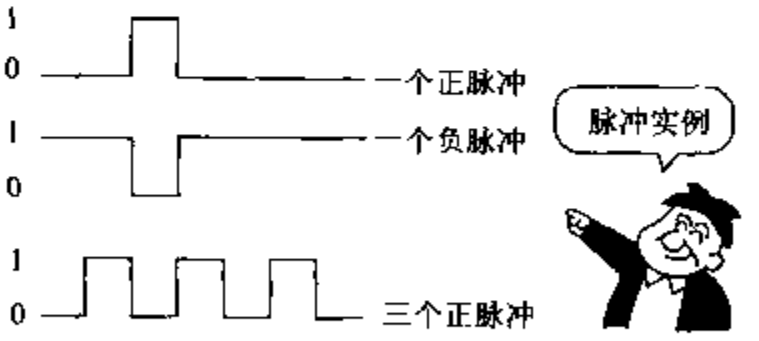
小丽 若旁路电容不靠近集成电路接入,就没有意义了。



(使用旁路电容实例)

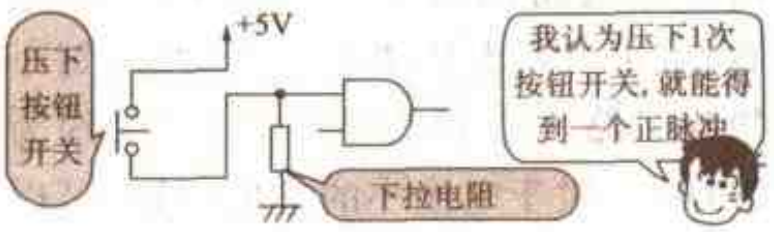
抖动现象

博士 在数字电路中将信号本身称为脉冲。

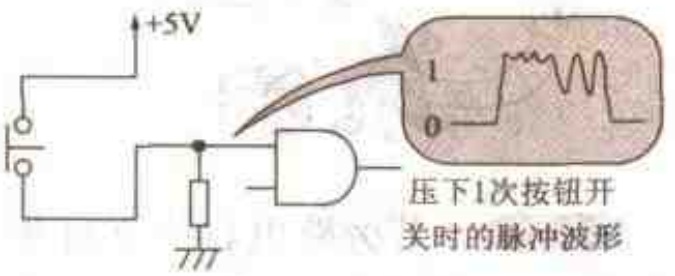


在某数字电路中若手动产生一个正脉冲,将如何做呢?

小丽 非常简单,我认为用开关就可做到。



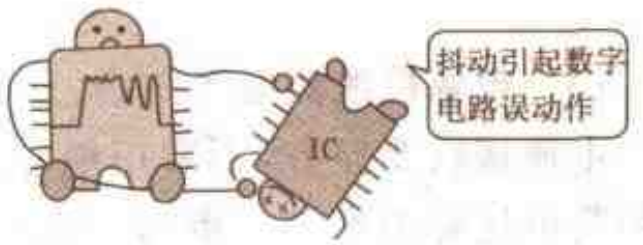
博士　分析小明同学设计的电路波形，如下图所示：



小丽　为什么只压下 1 次开关时得到的是锯齿状波形呢？

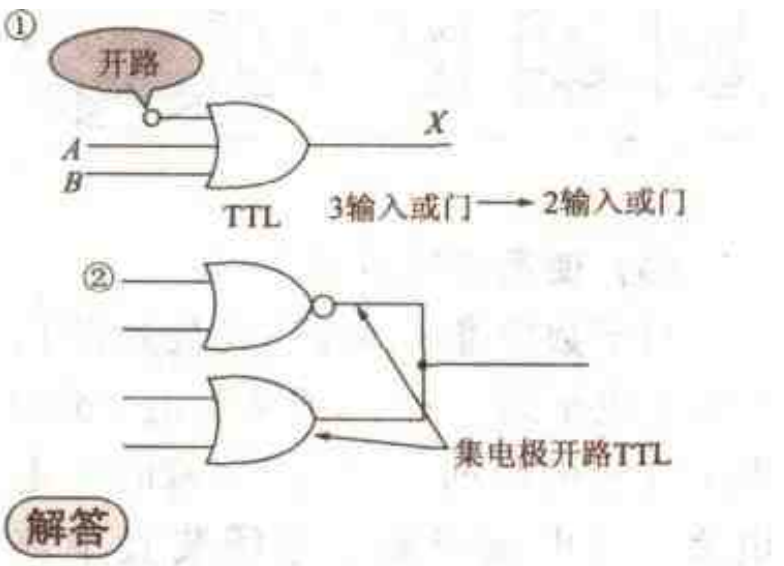
博士　机械开关的触点不是完全平滑的。接触时由于表面凹凸不平，使接触时间不稳定而产生这种情况，这种现象称为抖动。

在这个例子中，虽然只要得到一个正脉冲，但由于抖动的影响出现了多个正脉冲。为了防止这种现象的发生，可采用施密特触发电路与双稳态触发电路等。有关这些内容将在后述章节中介绍。



练习题

问题 1　下列连接方法正确吗？



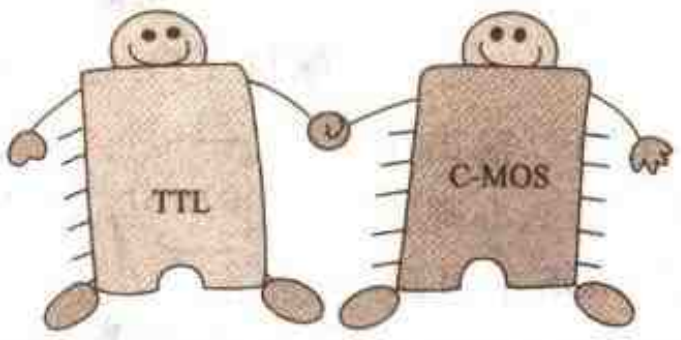
解答

①错误。TTL 输入端开路时为 1 的状态。

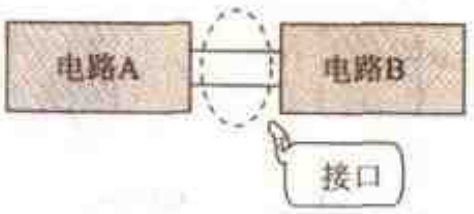
②正确。集电极开路 TTL 的输出可以这样连接。

4 接口功能

主要学习TTL与C-MOS的接口



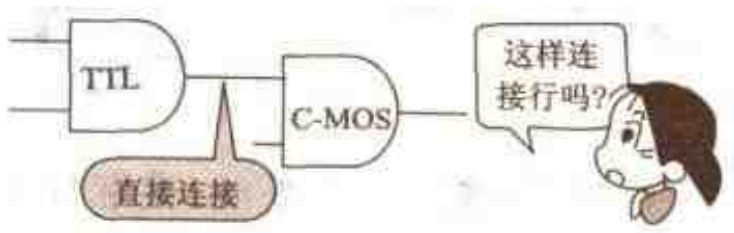
博士 一种功能与另一种功能连接时，其连接部分称为接口。



前面学习的TTL与C-MOS电气性能不同。为此，将其连接时需要注意接口问题。

TTL→C-MOS

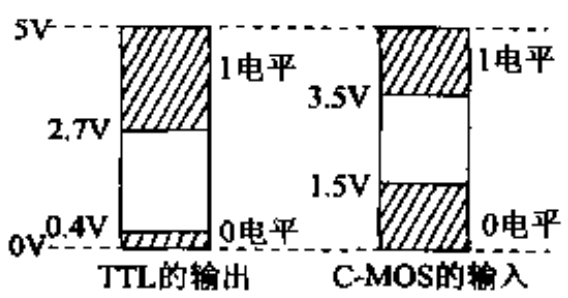
博士 试考察TTL的输出端接到C-MOS输入端的情况，采用下列图中的直接连接行吗？



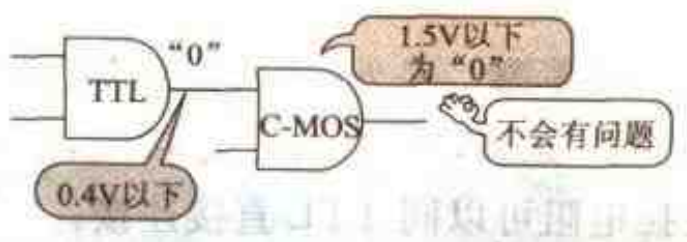
小丽 先看看电流问题。C-MOS输入阻抗非常高，几乎不需要电流。因此，我认为TTL的吸收电流和吐出电流不会超过最大额定值。

博士 是这样的。再看看电压将如何呢？

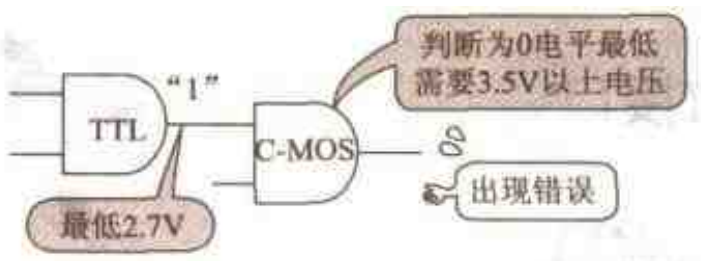
小明 TTL与C-MOS的阈值电压是不同吧。



博士 TTL(74LS系列)的输出为0电平时，实际上输出0.4V以下的电压。而C-MOS的输入电压为1.5V以下判断为0电平，因此，不会有问题。

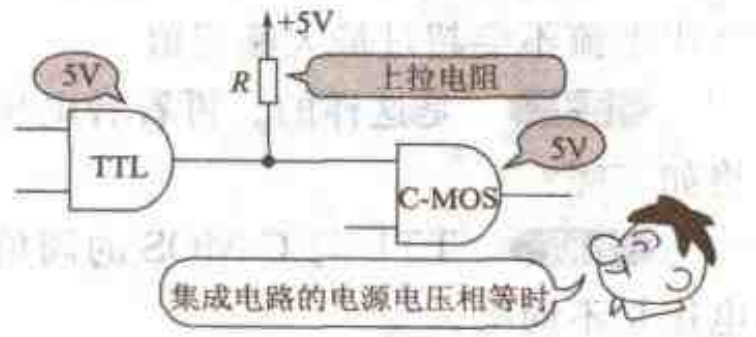


另外，TTL 输出 1 电平时，实际上输出最低电压为 2.7V。C-MOS 输入信号判断为 1 电平，最低需要 3.5V 的电压。



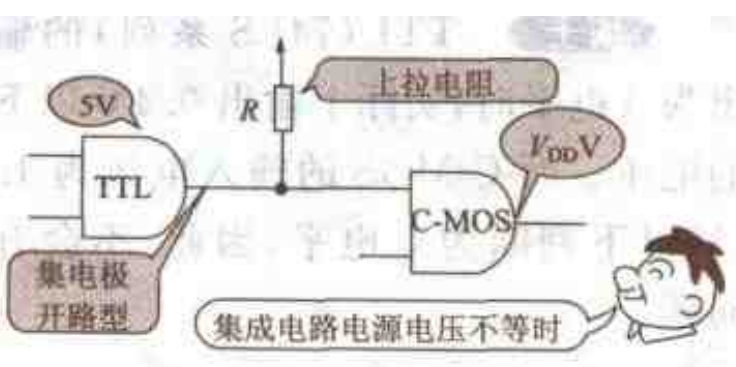
小丽　也就是说，TTL 输出 1 电平时，要出现错误。这该怎么办呢？

博士　TTL 与 C-MOS 的电源相等时(5V)，用上拉电阻就可以解决这个问题。

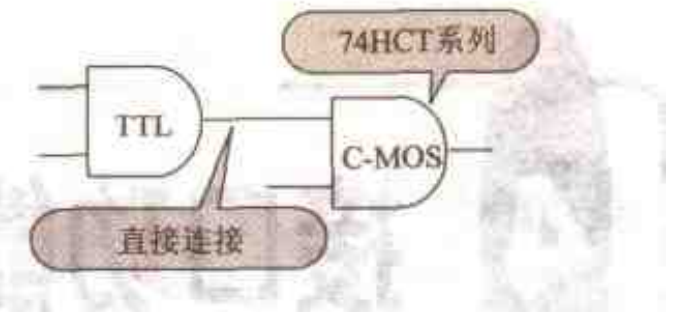


然而，TTL 与 C-MOS 的电源电压不等时，TTL 为集电极开路型，需要接上拉电阻。

小明　这时，利用集电极开路门电路。

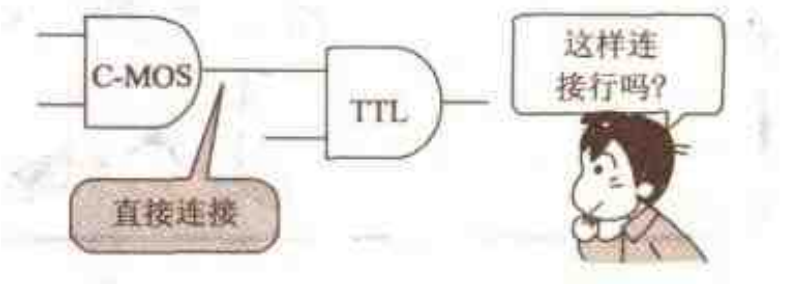


博士　另外，即使是 C-MOS 的 74HCT 系列，TTL 与之连接时，不用上拉电阻可以同 TTL 直接连接。

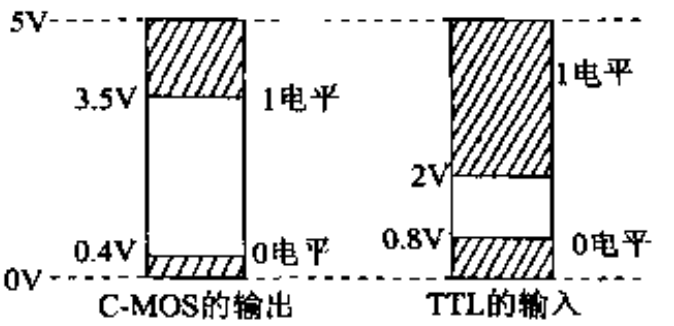


C-MOS→TTL

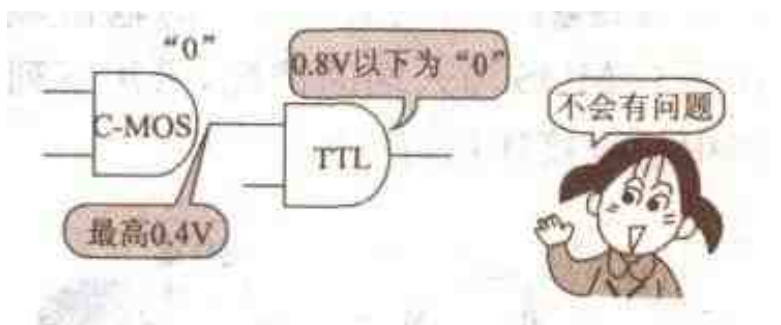
博士　现在考察 C-MOS 输出端与 TTL 输入端连接的情况。



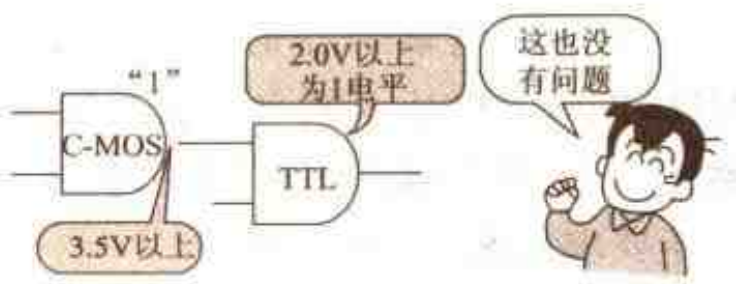
先考虑电压问题。



小丽　C-MOS 的输出为 0 电平时，实际输出电压最高也只有0.4V。TTL 的输入端电压为 0.8V 以下当作 0 电平，因此，不会有问题。

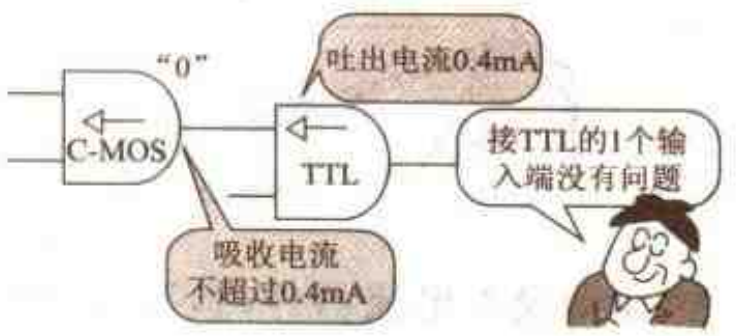


C-MOS 输出 1 电平时，实际输出电压为 3.5V 以上。TTL 的输入端电压为 2.0V 以上当作 1 电平，因此，这也没有问题。



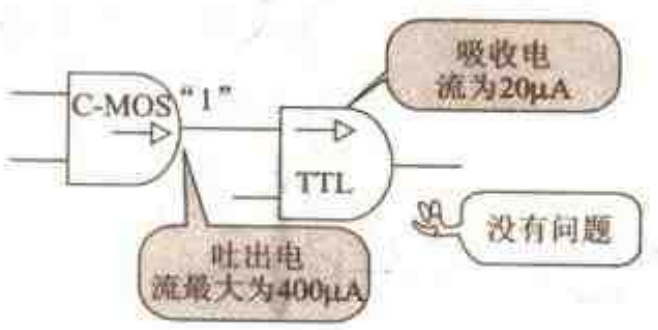
小明 电压没有问题，那电流呢？

博士 C-MOS 输出端的吸收电流，吐出电流最大也只有 0.4mA 左右。输出端为 0 电平时，74LS 系列的吐出电流也为 0.4mA。



小丽 也就是说，C-MOS 的输出端可以接 TTL(74LS 系列)的 1 个输入端。

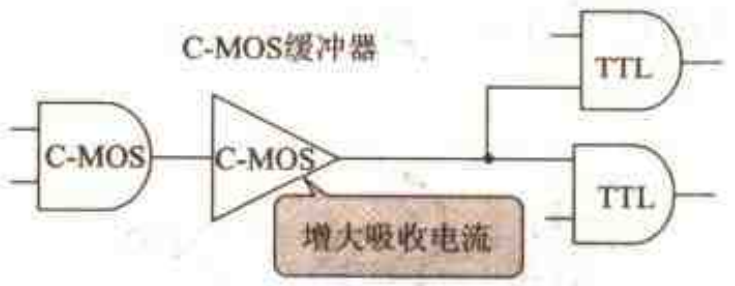
博士 C-MOS 输出为 1 电平时，TTL 吸收电流最大为 20μA，但 C-MOS 吐出电流最大为 0.4mA，因此，没有问题。

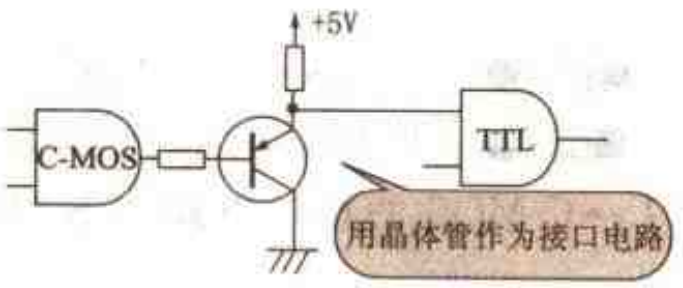


小明 C-MOS 输出端接 2 个以上 TTL 输入端时，采用何种接法呢？

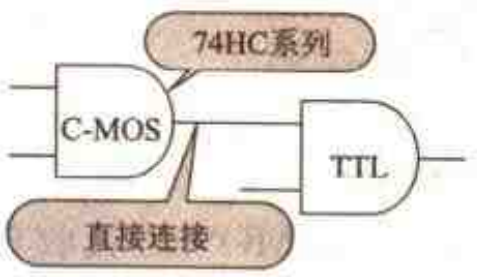
博士 可以用 C-MOS 缓冲器(4050B 等)增大吸收电流。这样，最多可以接 10 个以上 TTL 输入端。

接口电路也有采用晶体管的方法。但 C-MOS 与 TTL 的电源电压一定要相等。



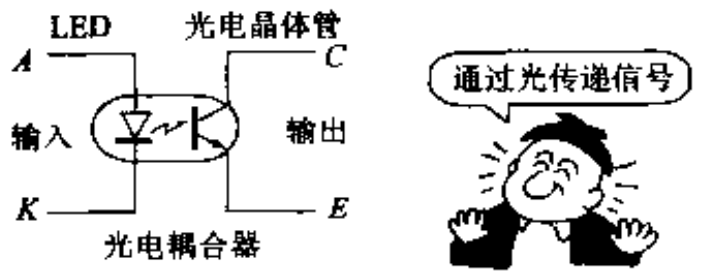


HC 型 C-MOS 具有 TTL 接口规格，因此可直接连接 TTL。

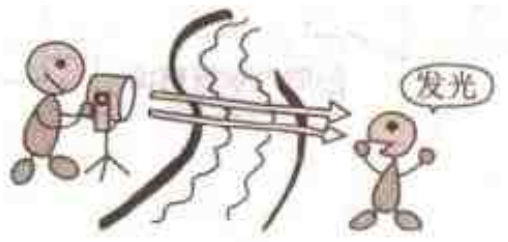


光电耦合器

博士 到目前为止考虑的接口是输入侧与输出侧在电气上的连接，换句话说，就是采用原样传递电信号的方法。还有在电气上完全隔离，只传递信号的方法。请观察下图所示的器件。

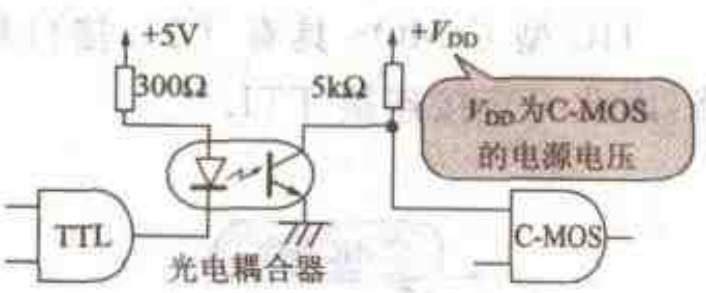


这种器件称为光电耦合器。若左侧的 LED(发光二极管)发光,则右侧的晶体管有电流流通(导通状态)。

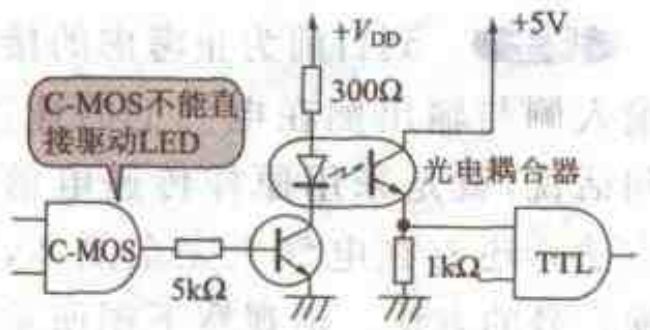


小丽　即通过光取出信号。

博士　采用光电耦合器作为 TTL→C-MOS 的接口电路如下图所示:



C-MOS→TTL 的接口电路如下图所示,因为 C-MOS 的吸收电流小,不能直接驱动 LED。因此,要接入晶体管。

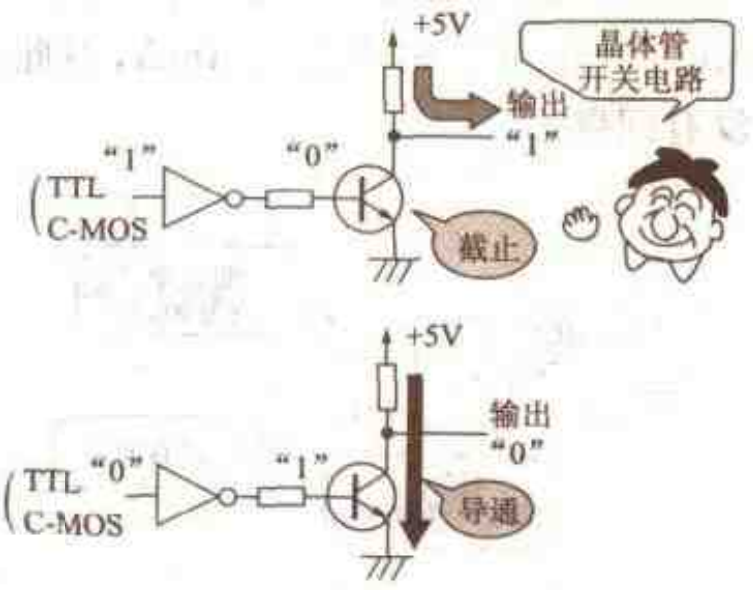


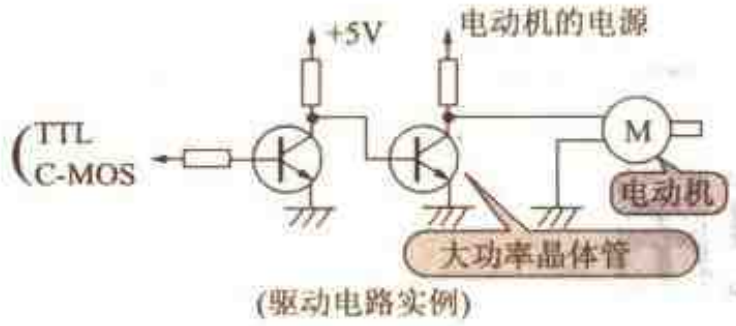
采用光电耦合器时,TTL 与 C-MOS 的电源电压不同也不会有问题。然而,光电耦合器的工作速度慢,不适用于要求高速工作的电路。

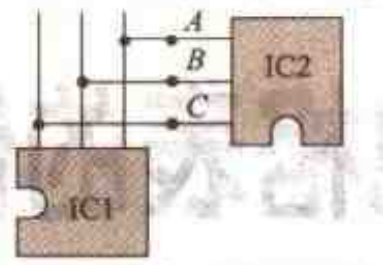
大电流驱动

博士　例如,TTL(74LS 系列)的最大吸收电流为 8mA。只能驱动 1 个 LED,不能驱动继电器与电动机等器件。

驱动较大电流器件时,要使用晶体管开关电路。晶体管开关电路是利用晶体管开关的原理,即对于 NPN 型晶体管,若在其基极施加电压,则集电极—发射极间导通有电流流通,这相当于开关接通。







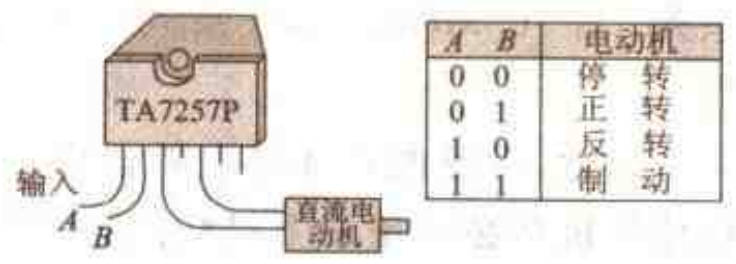


由 TTL 或 C-MOS 驱动开关晶体管构成电路，这样就能驱动上述较大电流的负载。

小明 也有使用开路集电极 TTL 构成驱动较大电流的电路吧。

电动机控制用集成电路

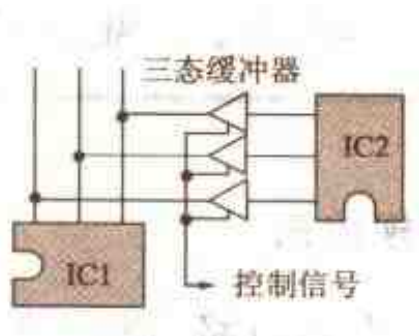
博士 市场上也有销售用数字信号直接控制电动机的集成电路，使用非常方便。

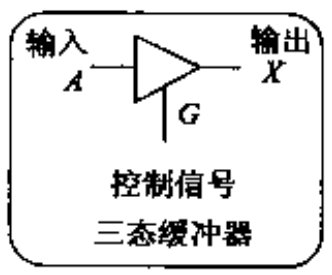


A	B	电动机
0	0	停　转
0	1	正　转
1	0	反　转
1	1	制　动

三态缓冲器

博士 采用下述所示电路，可根据需要使端子 A～C 脱离电路。





这时使用的电路是三态缓冲器。三态缓冲器是用 G 端子信号控制 A-X 间导通-截止的门。截止时 X 端子为开路状态。

三态缓冲器经常用于计算机存储器的读写电路的切换。

练习题

问题 1 处理 TTL 与 C-MOS 的混合电路时应当注意些什么问题呢？

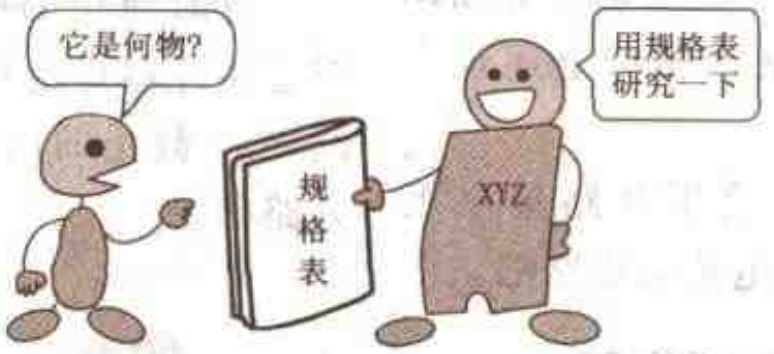
解答

注意电源电压。

TTL 与 C-MOS 连接时，注意接口问题。

5 规格表的使用

学习使用数字集成电路的规格表



集成电路的规格表

博士　数字集成电路的种类非常多，为了了解它们的性能，需要使用规格表。

小明　在何处能买到这种规格表呢?

博士　集成电路规格表是由制造集成电路的半导体厂家提供的。那么，写的方法随厂家不同而稍有些不同，但没有太大差别。然而，厂家提供的规格表大半都是用英文写的，日本有几家出版社将各半导体厂家提供的集成电路规格表进行归总，并在市场上出售。

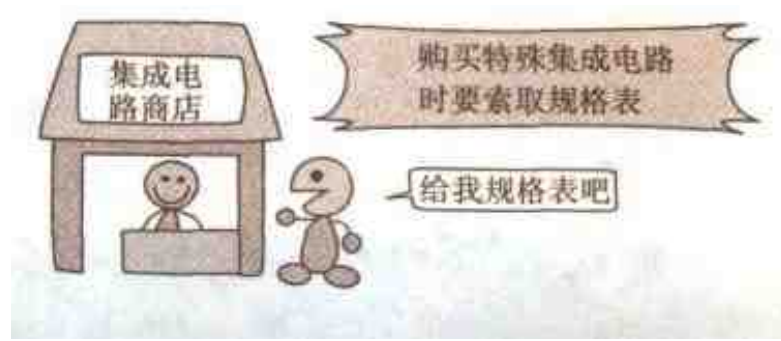


我认为一般可采用出版社出版的规格表，它使用方便。这些规格表在书店里都容易买到。其中，在手边必备“74系列”与“C-MOS(4000 系列)”规格表。

最近，市场也有规格表软盘出售。用计算机在必要条件下可快速检索出软盘中集成电路规格表，并可以进行比较。



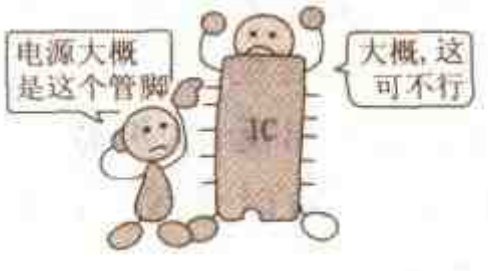
特殊集成电路规格表较难弄到手。购入这种集成电路时，别忘了从购买店索取相应的规格表。



这里学习使用规格表所必备的基本知识。

管脚排列

博士 使用集成电路时千万不要忘记的信息是“管脚排列”。不要只凭含糊不清的记忆。在接线前一定要对照规格表确认管脚的排列序号。



最大额定值

博士 使用集成电路时，必须遵守的规格是**最大额定值**，有时也称为绝对额定值。例如，使用集成电路时，即使是瞬时超过最大额定值，集成电路也会损坏，性能显著变差。



(1) TTL(74LS 系列的最大额定值)

电源电压	7V
输入电压	5.5V
集电极开路 TTL 截止时集电极电压	7V
三态 TTL 截止时输出端电压	7V
保存温度	−65～150℃

(2) C-MOS(4000 系列的最大额定值)

电源电压 V_{DD}	−0.5～20V
输入电压 V_{in}	−0.5～V_{DD}+0.5V
输入电流 I_{in}	±10 mA
允许损耗 P_d	200 mW
保存温度	−65～150℃
管脚引线温度，时间	265℃，10 秒

推荐工作条件

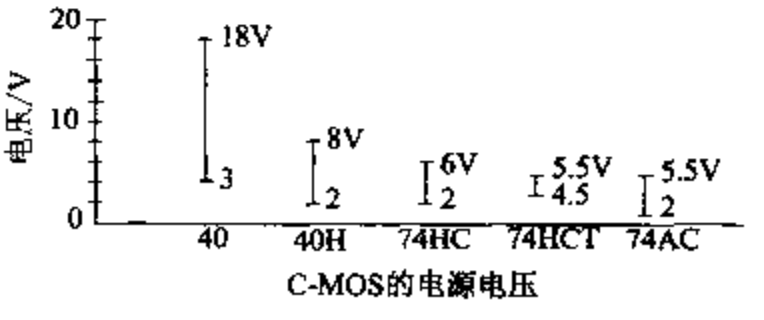
小丽 使用集成电路时决不能超过最大额定值，那么，集成电路工作时在**最大额定值**以下就可以了吗？

博士 为了使电路稳定工作，需要在推荐工作条件的范围内使用。

	TTL(74LS)	C-MOS(4000)
电源电压	4.75～5.25V	3～18V
工作温度	0～70℃	−40～85℃

（推荐工作条件）

C-MOS 推荐的工作电源电压的范围随系列不同有较大差别，要注意这一点。

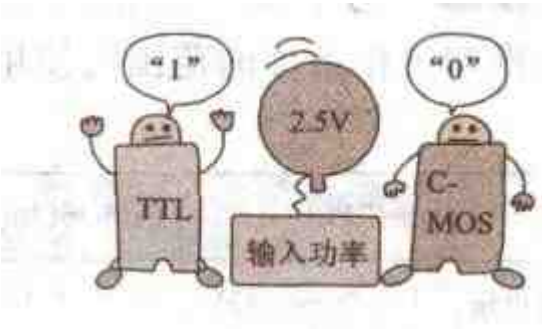


电气特性

博士　规格表中记载有逻辑电平、吸收电流、吐出电流、消耗功率、传输延迟时间等集成电路的电气特性。

例：V_{IH}——输入 1 电平时电压
V_{IL}——输入 0 电平时电压
I_{OH}——输出端为 1 电平时吐出电流
I_{OL}——输出端为 0 电平时吸收电流
P_W——消耗功率
t_{PD}——传输延迟时间

小明　前面已经讲过，TTL 与 C-MOS 混合使用时要特别注意逻辑电平等。



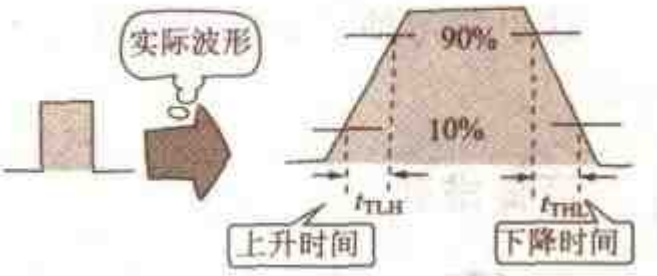
开关特性

博士　对于门电路，从输入信号到输出信号需要少许时间。

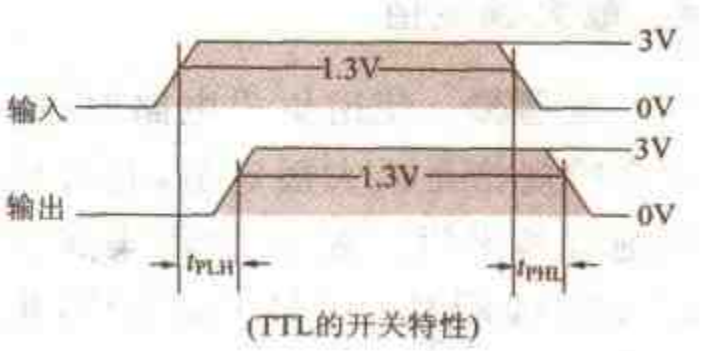
小丽　该时间称为传输延迟时间。

博士　是这样。有关传输延迟时间的电气特性称为开关特性。开关特性可用时间波形图表示。

例如，集成门电路输入一个正脉冲。



一个正脉冲实际上不是一个完整的方形波，而是如图所示的梯形波。0 电平转到 1 电平需要一定时间。完整 1 电平时电压作为基准，从振幅 10% 上升到 90%需要的时间称为上升时间（t_{TLH} 或 t_{rc}），相反，从振幅 90% 下降到 10% 需要的时间称为下降时间（t_{THL} 或 t_{fc}）。



(TTL的开关特性)

(1) TTL (74LS 系列) 的开关特性。

博士　对于 74LS 系列，从输入信号上升到 1.3V 的瞬时，到其对应的输出信号也上升到 1.3V 的时间，称为上升传输时间（t_{PLH}）。

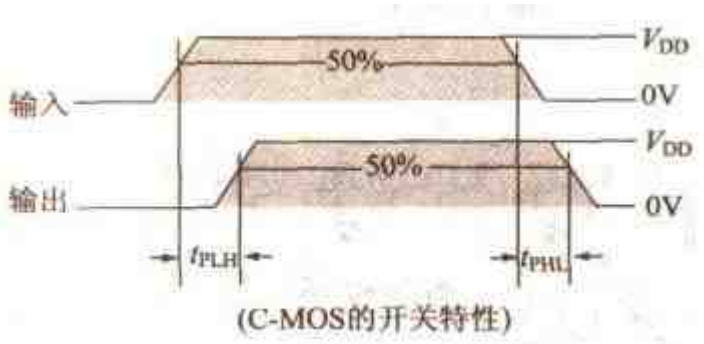
反之，从输入信号下降到 1.3V 的瞬时，到其对应的输出信号下降到 1.3V 的时间，称为下降传输时间（t_{PHL}）。规格表中也有将上升传输时间记作 t_{pd}（L→H），下降时间记作 t_{pd}（H→L）。

例如，74LS08（与门）的 t_{pd}（L→H）=15ns，t_{pd}（H→L）=20ns。



请注意，这些电气特性随温度不同而异，这些特性都是在25℃时测试的。

(2) C-MOS(4000系列)的开关特性



(C-MOS的开关特性)

博士 对于C-MOS系列，以电源电压的50%作为基准，规定了上升传输时间（t_{PLH}）和下降传输时间（t_{PHL}）。

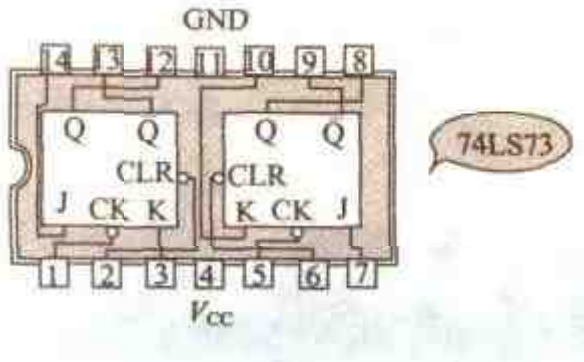
例如，4081B（与门）的工作电压5V时，t_{pd}(L→H)与t_{pd}(H→L)都是125ns。

小明 C-MOS与TTL相比有些慢吧。

博士 另外，C-MOS输入端有电容(C_{in})，多数情况下为5pF。

正逻辑与负逻辑

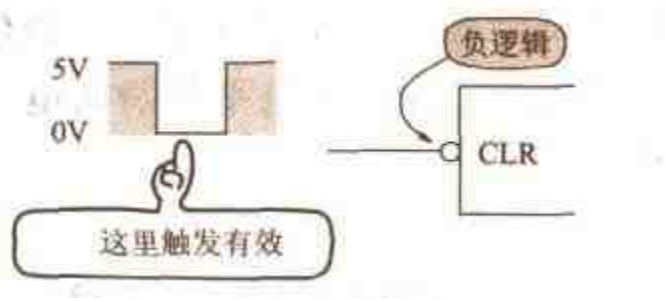
博士 试考察74LS73的TTL电路。



这称为JK触发器电路，清零端(CLR)和时钟端(CK)有○作为标记，这标记○表示负逻辑工作状态。

小丽 负逻辑就是0V当作高电平吧。

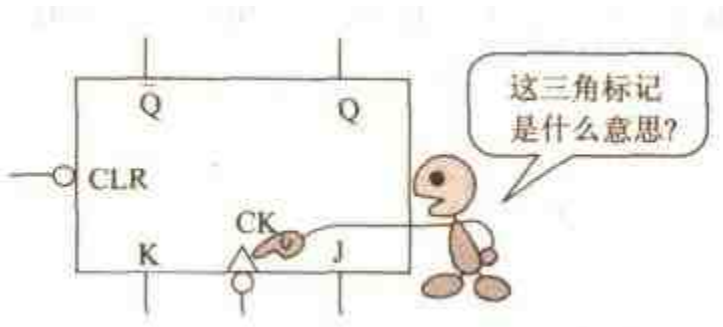
博士 是这样。也就是说，若在该集成电路的清零端施加信号时，必需是0V信号。加5V信号电路不工作，要注意这一点。



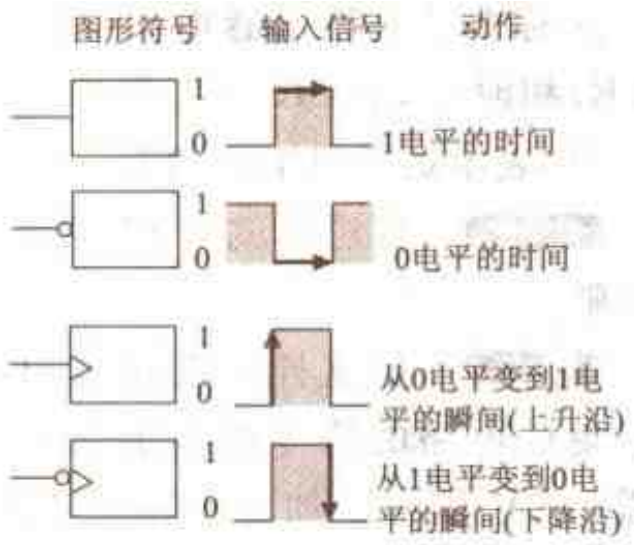
负逻辑工作端子也用$\overline{\text{CLR}}$这样的形式表示，即在工作端子名称上加一杠。

边沿触发

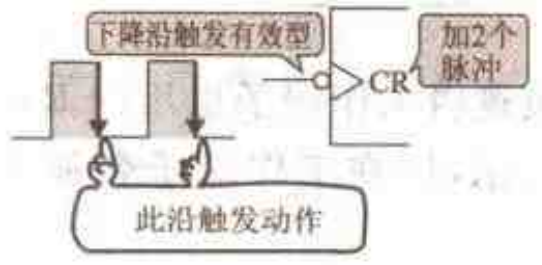
小明 上述集成电路(74LS73)的时钟(CK)端子有三角标记，这表示是什么意思呢？



博士 三角标记表示动作信号的变化情况。脉冲信号变化情况有下列4种形式。



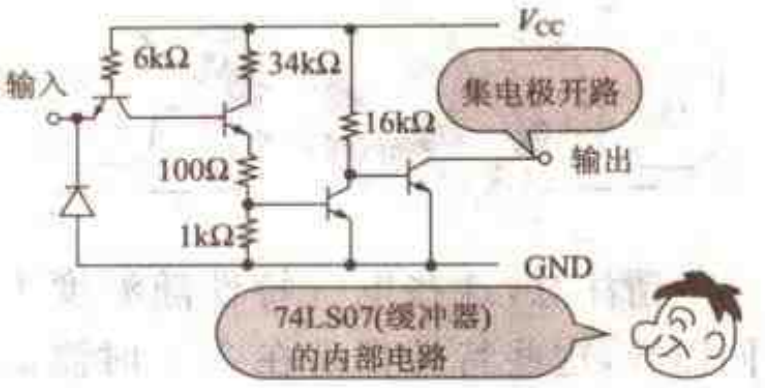
小丽　也就是说，该集成电路是下降沿触发有效型，因此，时钟信号从 1 电平下降到 0 电平的瞬间电路动作。



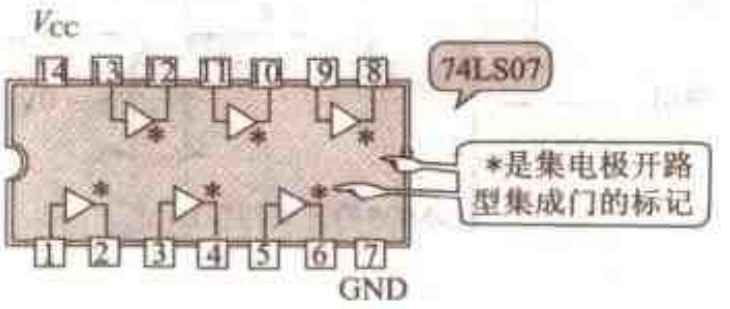
集电极开路型集成电路

小明　在规格表中能分清集电极开路型集成电路吗？

博士　规格表中示出了集成门的内部电路，一看内部电路就能分清。



另外，对于集电极开路型集成门有时也在输出端标有 * 。



这里以学习过的基本知识作为理论指导，实际查看规格表，从而获取必要的数据。

练习题

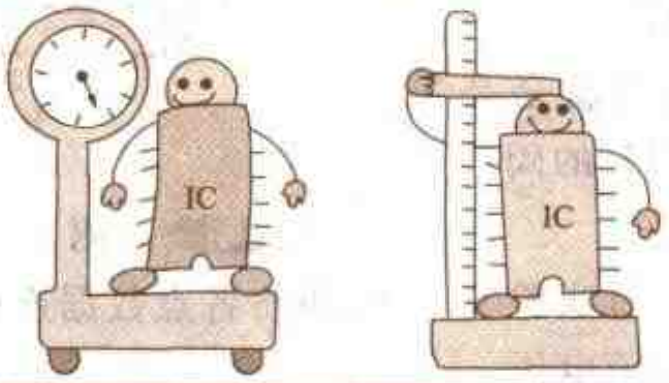
问题 1　试考察引起 C-MOS 电气特性变化的主要原因。

解答

主要原因有温度、电源电压、输出负载电阻、测试电路等。

6 实 践

用实验验证数字集成电路的特征

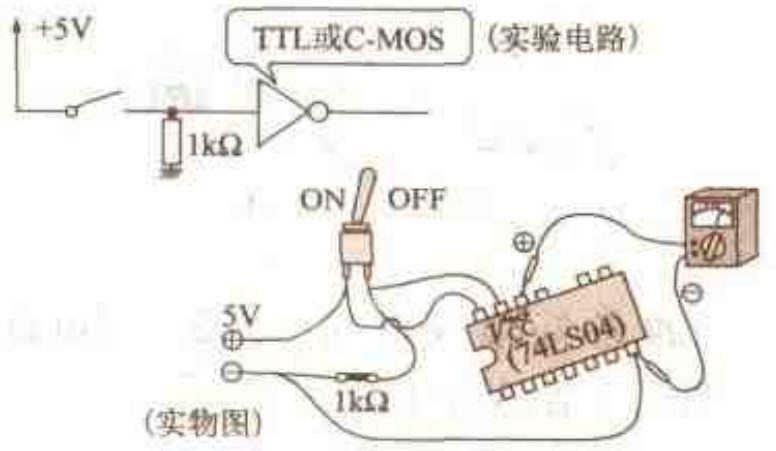


输出端电压

博士 先测量 TTL 与 C-MOS 输出端电压。被测量电路 TTL 选用 74LS04(非门),C-MOS 选用 4049UB(非门)。



实验电路如下所示:



实验结果列如下表中:

开 关	TTL	C-MOS
断 开	2.5(V)	5.0(V)
接 通	0.05(V)	0(V)



小明 即使逻辑电平相同,TTL 与 C-MOS 的实际电压有很大不同。

小丽 因此,TTL 与 C-MOS 混合使用时要注意接口问题。

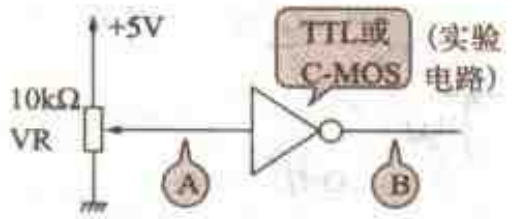
阈值电压的测量

博士　TTL 与 C-MOS 的阈值电压不同。

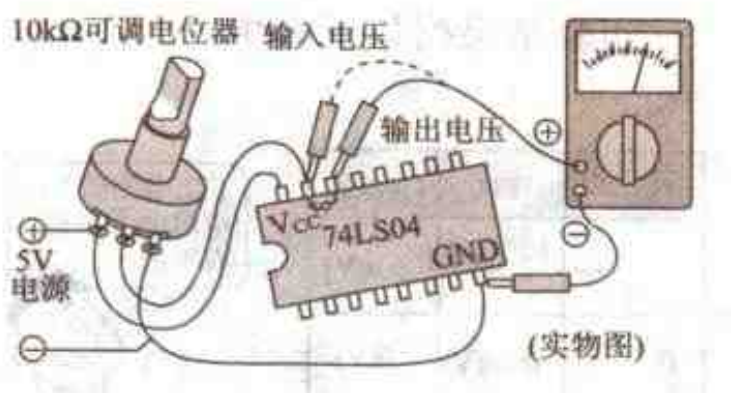
小明　当集成门电路输入端加的电压从 0V 调高时，输入电压与输出电压相等的电压称为阈值电压。

小丽　也就是说，阈值就是高电平与低电平的分界线。TTL 的阈值电压比 C-MOS 的低。

博士　是这样。试通过实验实际测量 TTL 与 C-MOS 的阈值电压。



准备好集成电路 74LS04，10kΩ 可调电位器(VR)以及万用表。



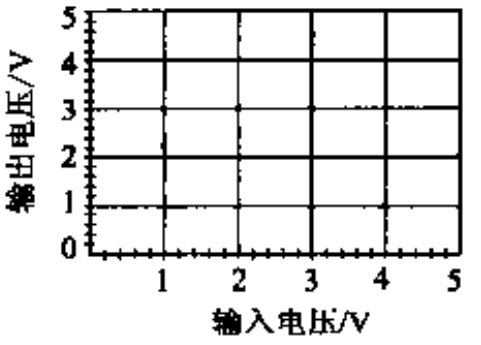
原则上未用管脚接地为好，这里省略。

实验方法

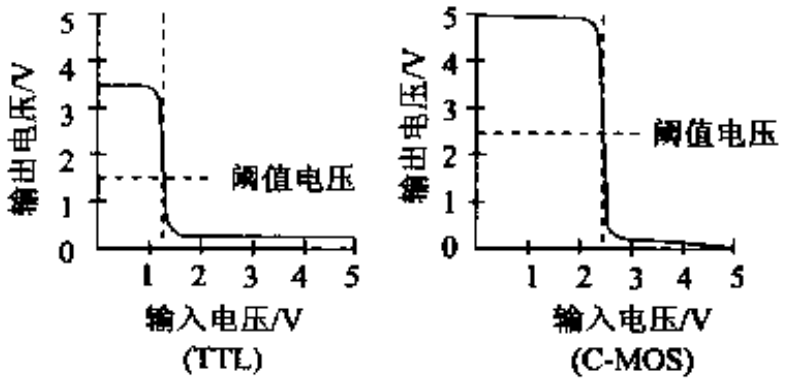
① 用 VR 将输入端 *A* 的电压调为 0V。

② 再用 VR 将输入端 *A* 的电压调到 0.2V，然后测量输出端 *B* 的电压。

将 TTL 与 C-MOS 的测量结果记入下图中：



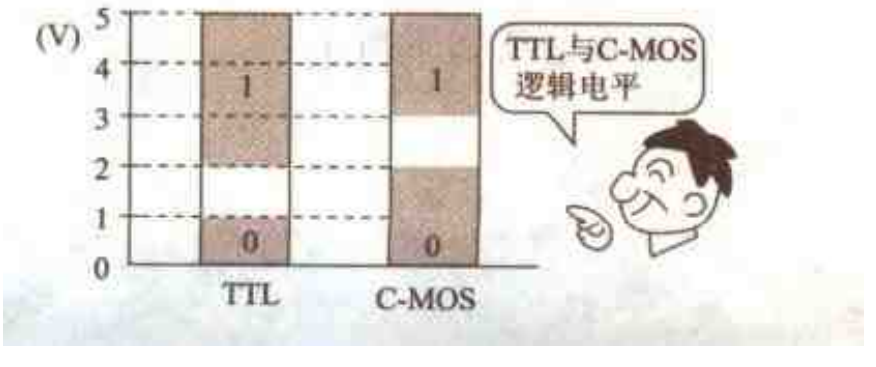
小明　测量结果用点记入图中，再将各点数据连接成曲线。

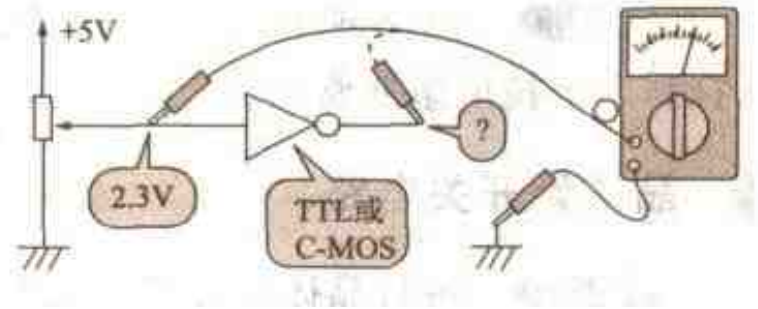


小丽　找到曲线中输入电压与输出电压相等点即为阈值电压，测量的 TTL 阈值电压约为 1.4V，C-MOS 约为 2.5V。

博士　TTL 输入信号约 1V 以下为低电平，约 2V 以上为高电平，C-MOS 输入信号约 2V 以下为低电平，约 3V 以上为高电平。

区分低电平与高电平的范围称为逻辑电平，这在前面已经讲过。



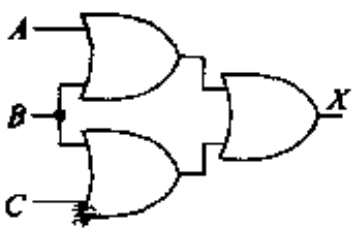


对于 TTL 与 C-MOS，在其输入端施加(例如 2.3V)电压，TTL 输出电压为低电平，C-MOS 输出电压为高电平，试确认表示不同的逻辑电平。

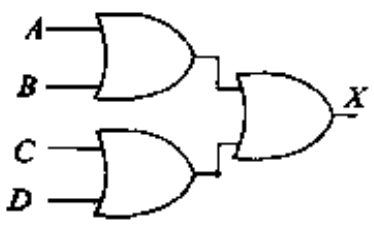
输入端的扩展

博士 试用 2 输入或门电路，构成多输入或门电路。

小明 构成 3 输入和 4 输入或门电路。

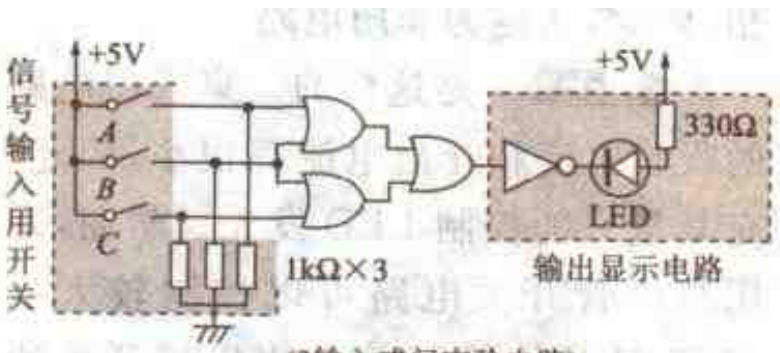


3输入或门



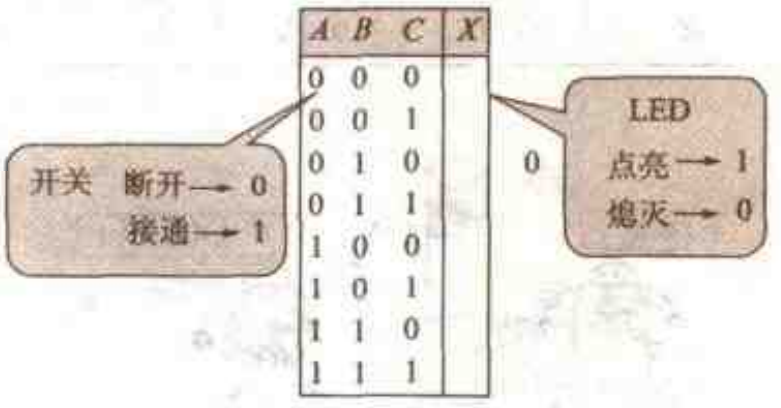
4输入或门

博士 试用 TTL 的 74LS32(2 输入或门)实际制作 3 输入或门电路。用第 1 章实践一节中制作的信号输入用开关电路与输出显示电路。



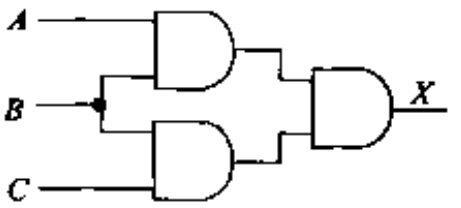
(3输入或门实验电路)

请完成下列真值表。



小明 应满足逻辑函数表达式 $X=A+B+C$。

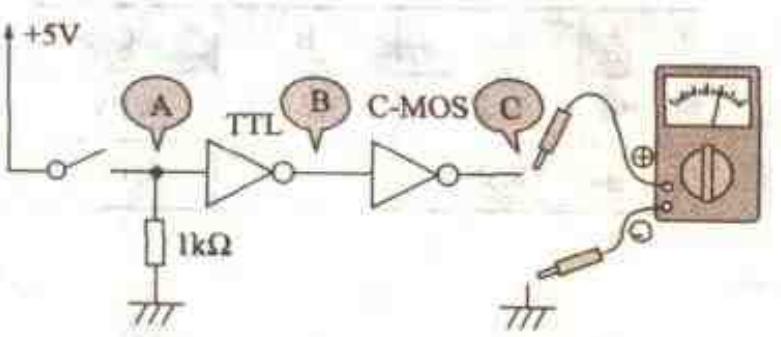
博士 同样，请制作用 2 输入与门构成 3 输入与门电路，并进行实验。



(3输入与门电路)

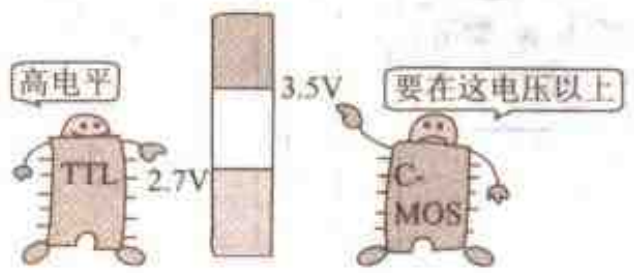
上拉电阻

小明 TTL 输出端接到 C-MOS 输入端时，先考虑采用输入与输出端直接连接的方式。



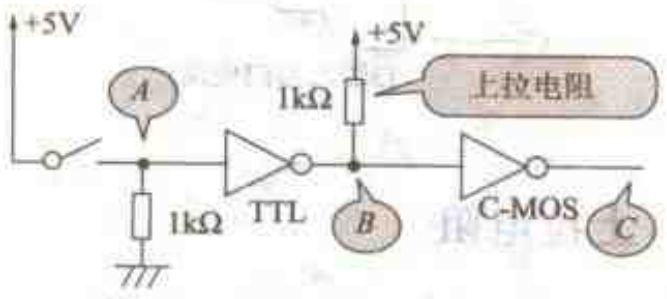
改变输入信号，用万用表测量 A，B，C 各端子电压。

开 关	A	B	C
断 开	1.3V	2.7V	5.0V
接 通	5.0V	0.0V	5.0V



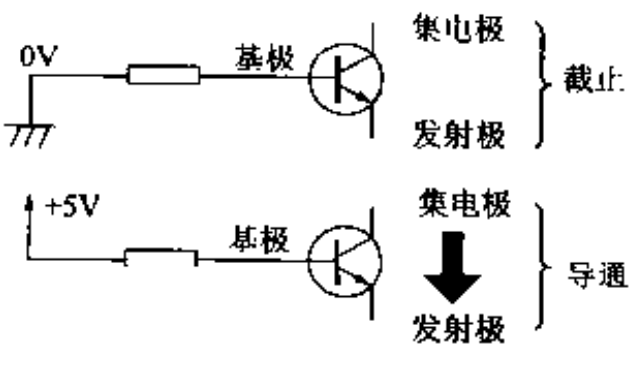
小丽 TTL输出为高电平时最低为2.7V电压，而C-MOS输入为高电平时最低需要3.5V电压。因此，出现逻辑误差。

小明 这时接入上拉电阻即可。



对接有上拉电阻的电路，再做一次实验。

开 关	A	B	C
断 开	1.3V	3.5V	0.0V
接 通	5.0V	0.0V	5.0V



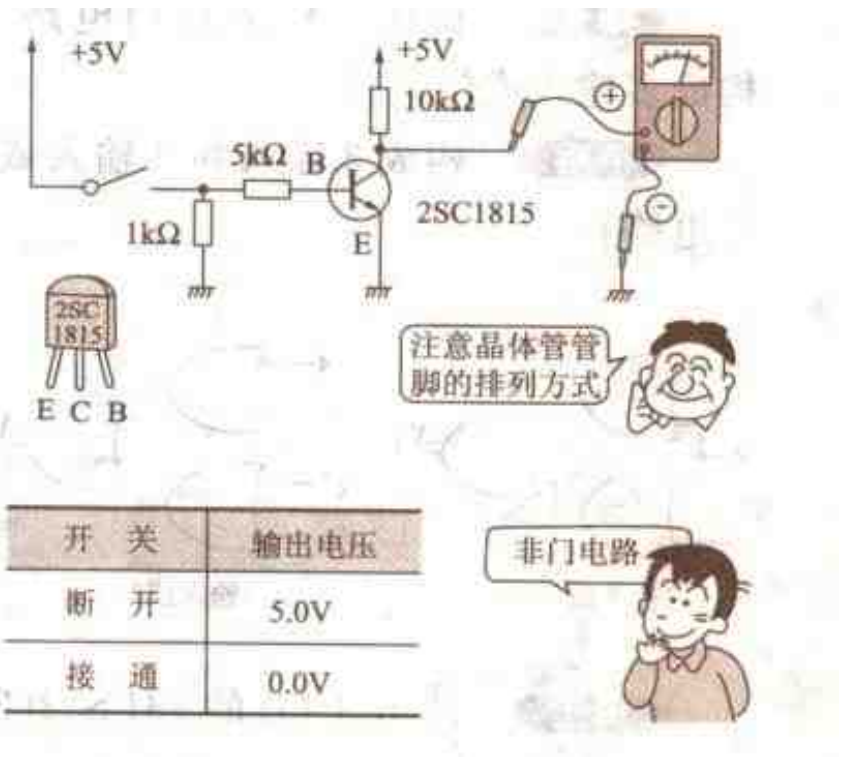
小丽 电路现在能正常工作。的确，用上拉电阻非常简单。

晶体管开关电路

博士 进行晶体管开关工作的实验。

在晶体管的基极不加电压时，集电极与发射极为截止状态。若在基极加电压，则集电极与发射极为导通状态。

实验电路如下所示：



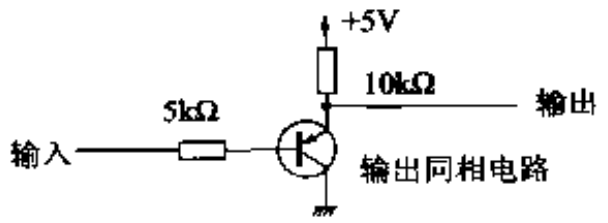
开 关	输出电压
断 开	5.0V
接 通	0.0V

测量电压，确认晶体管的工作状态。

小明 该电路的输入与输出反相，因此，认定为非门电路。

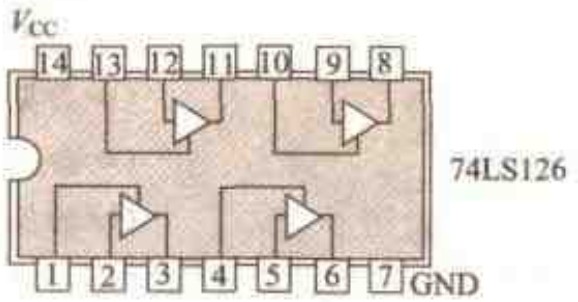
博士 是这样的。集成门电路的吸收电流和吐出电流都很小，因此，充其量只能控制LED发光。然而，采用晶体管开关电路可以控制较大电流，而且晶体管开关又比机械开关速度快，并不用担心抖动的问题。

小丽 采用PNP型晶体管可构成输出同相开关电路。

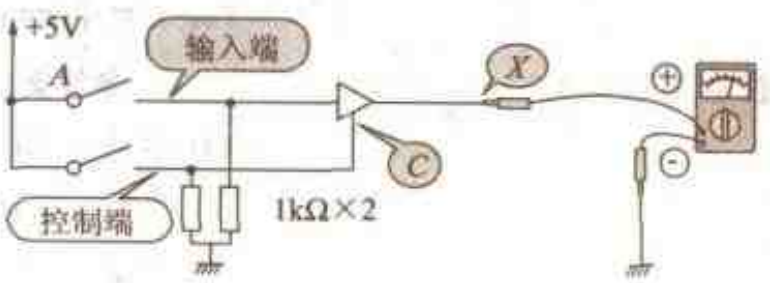


三态缓冲器

博士 试使用三态缓冲器。



实验电路如下所示：



实验结果列于下表中：

控制端开关	输入端开关	输出电压
断 开	断 开	0V
	接 通	0V
接 通	断 开	0V
	接 通	3.8V

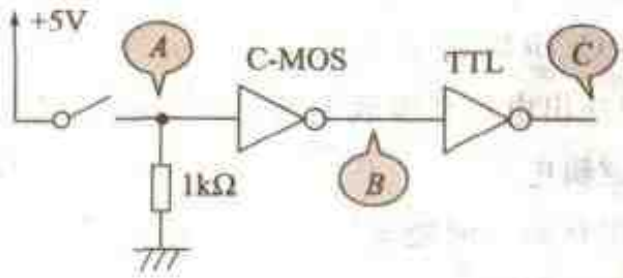
高阻抗

小明 C 端为高电平时，输入 A 与输出 X 接通；C 端为低电平时，输出 X 为开路(高阻抗)。

博士 注意开路状态与低电平不同。

练习题

问题 1 用实验确认下述电路是否能正常工作。



解答

开 关	A	B	C
断 开	0.0V	5.0V	0.0V
接 通	5.0V	0.0V	4.0V

能正常工作



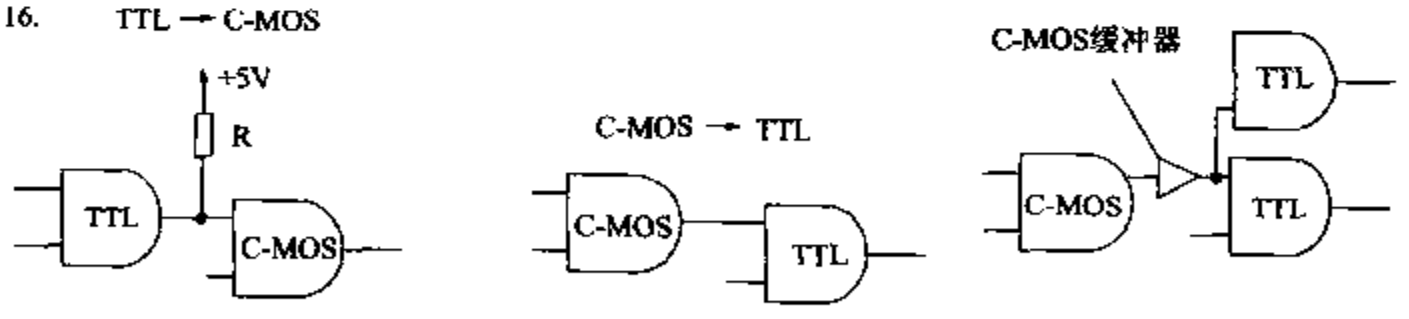
Q 挑战题

（解答省略，参照本章内容）

1. 试对 TTL 与 C-MOS 进行比较。 （☞参见 p. 52）
2. 试考察一下 74HC 系列。 （☞参见 p. 56）
3. 何谓最大额定值。 （☞参见 p. 73）
4. 何谓阈值电压。 （☞参见 p. 55）
5. 何谓传输延迟时间。 （☞参见 p. 54）
6. 使用集成电路时一般注意事项有哪几点？ （☞参见 p. 57）
7. 何谓扇出。 （☞参见 p. 59）
8. 试考察 C-MOS 的扇出。 （☞参见 p. 60）
9. 试说明吐出电流和吸收电流。 （☞参见 p. 59）
10. 何谓逻辑电平。 （☞参见 p. 54）
11. 未使用管脚如何处理。 （☞参见 p. 62）
12. 何谓上拉电阻。 （☞参见 p. 63）
13. 何谓集电极开路型集成电路。 （☞参见 p. 63）
14. 试说明旁路电容的工作情况。 （☞参见 p. 65）
15. 何谓抖动。 （☞参见 p. 65）
16. 试归纳一下 TTL 与 C-MOS 混合使用时一些注意事项。 （☞参答案）
17. 试说明集成电路工作的脉冲沿。 （☞参见 p. 75）
18. 试说明晶体管开关电路。 （☞参见 p. 80）
19. 何谓三态缓冲器。 （☞参见 p. 81）

A 答　案

16.



集成电路的电源电压相同时，接入上拉电阻，电源电压不同时，可使用集电极开路 TTL。

C-MOS 输出端可以直接接 TTL 的一个输入端，但接 TTL 多个输入端时，可利用 C MOS 缓冲器门电路。

第3章 运算电路



博士



小明



小丽

本章学习目的

在第1章已经学习过逻辑电路的基础理论。然而,会有人提出疑问,实际中如何使用与门、或门等电路呢?

的确,有人认为只选用与门、或门等基本逻辑电路有何用呢?

计算机电路都是由逻辑电路构成的,即用与门、或门等电路构成。也就是说,用与门、或门等构成的组合逻辑电路可进行各种运算。

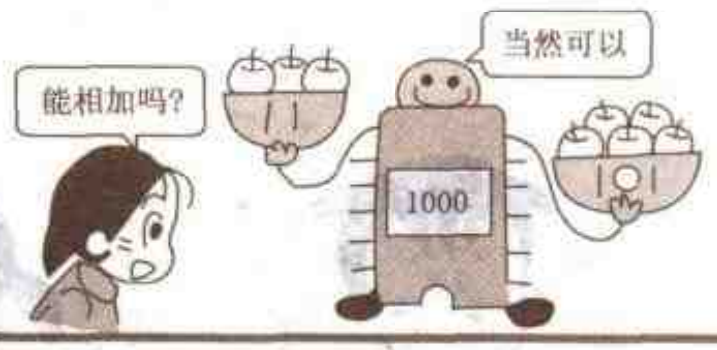
本章介绍用第1章学习的基本逻辑电路构成各种运算电路的方法。运算电路中有进行四则运算的电路,即加法、减法、乘法和除法。

另外,还介绍进行数据变换的编码器、选择所需要数据的多路转换器、进行数据彼此间比较的比较器。从而理解计算机如何进行数据的运算与处理。

本章是基本逻辑电路的应用部分,如果有必要,再回过头来复习第1章的内容,那么小明和小丽,咱们边复习边学习吧!

1 加法电路

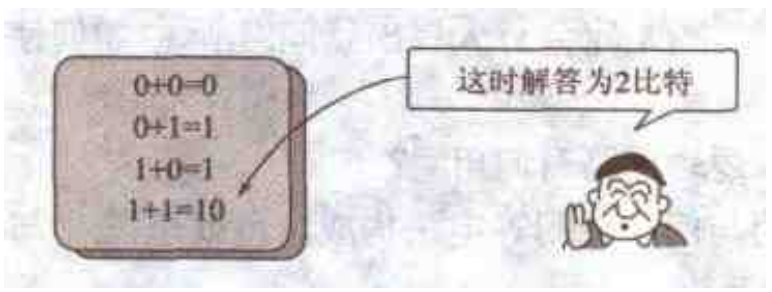
主要学习用逻辑电路进行的加法运算



半加器

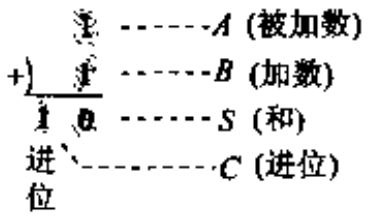
博士　两个 1 比特数据相加的电路称为半加器。

小明　两个 1 比特数据相加方式如下所示：



仅 1＋1 时为 2 比特吧。

博士　1＋1 时和应为 0，现考察向高位进位的情况。



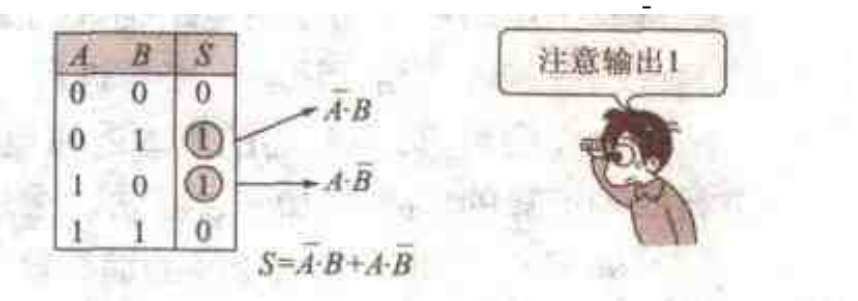
小明　试考察下列这个半加器的真值表。

A	B	S	C
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

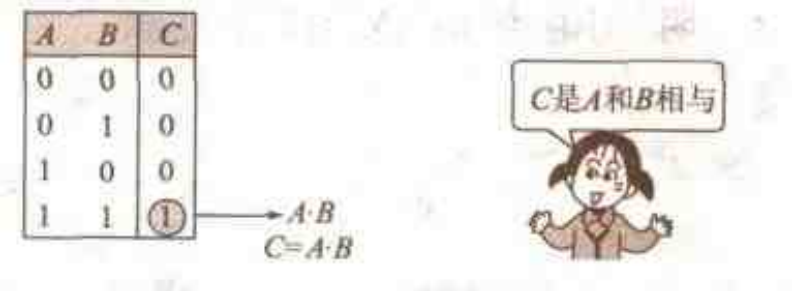
半加器的真值表

小明　根据该真值表可以求出逻辑函数表达式。试根据真值表求出加法标准式的逻辑函数表达式。

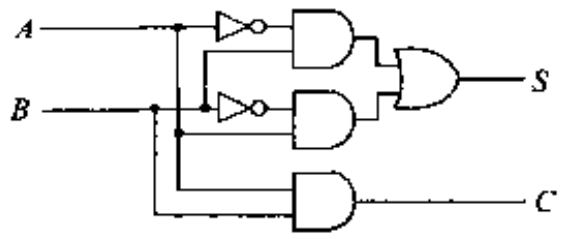
(1) 求 S 的逻辑函数表达式



(2) 求 C 的逻辑函数表达式

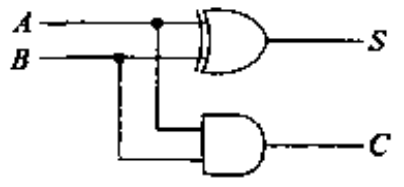


根据逻辑函数表达式画出逻辑电路。



（半加器的基本电路）

用异或门电路也可以将该电路改画成下列形式：



（用异或门组成的半加器）

博士 可以这样做。利用第 1 章学习的知识即可。为慎重起见，再验证一下半加器的原理。



半加器的图形符号用方框表示，HA 是 Half Adder 的缩写。



（半加器的图形符号）

小丽 为什么不叫加法器，而称为半加器呢？

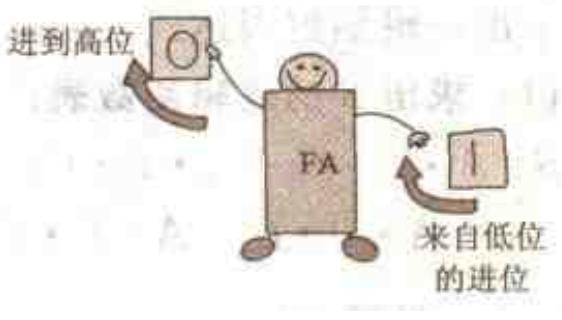
博士 半加器只能进行 1 位的加法，可以提供进到一个高位的进位信号，而不能接受来自一个低位的进位信号，因此，不能进行多位加法运算。



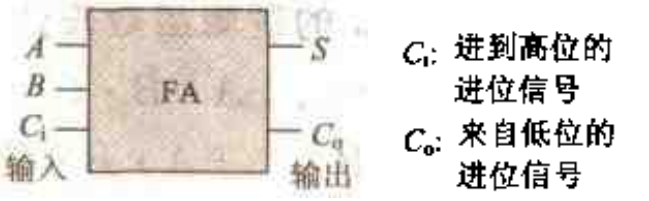


全加器

小明 全加器可以提供一个高位的进位信号，而且也能接受来自一个低位的进位信号。



博士 是这样的。全加器是半加器上附加一种功能的加法器，这种功能就是能够接受来自一个低位的进位信号。



（全加器的图形符号）

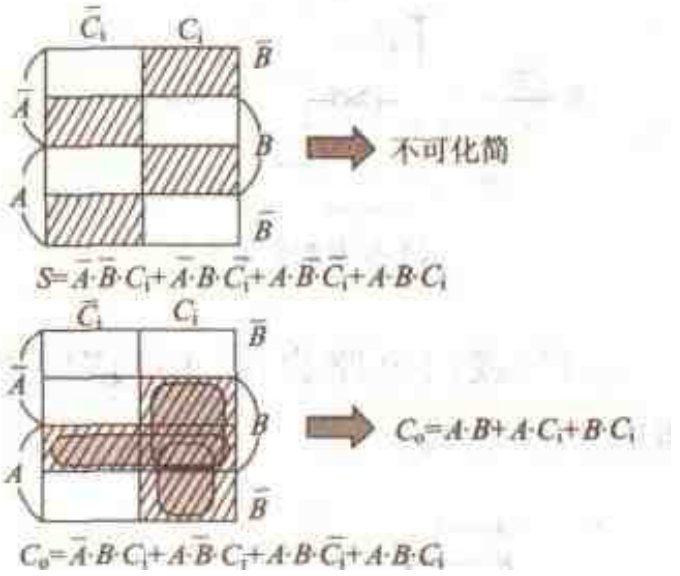
进行计数时，将被加数（A）、加数（B）和来自低位的进位信号（C_i）这三个数据相加，而将和（S）和进到高位的进位信号（C_o）这两个数据作为输出。



全加器的真值表如下：

A	B	C_i	S	C_o
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

（全加器的真值表）



小明　与半加器一样，试由真值表求出逻辑函数表达式。

(1) 求出 S 的逻辑函数表达式

$$S=\bar{A}\cdot\bar{B}\cdot C_i+\bar{A}\cdot B\cdot\bar{C}_i+A\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}_i+A\cdot B\cdot C_i$$

A	B	C_i	S	
0	0	0	0	
0	0	1	1	$\bar{A}\cdot\bar{B}\cdot C_i$
0	1	0	1	$\bar{A}\cdot B\cdot\bar{C}_i$
0	1	1	0	
1	0	0	1	$A\cdot\bar{B}\cdot\bar{C}_i$
1	0	1	0	
1	1	0	0	
1	1	1	1	$A\cdot B\cdot C_i$

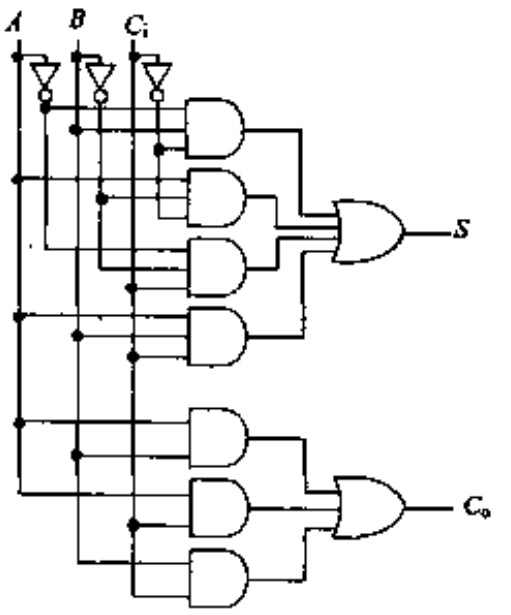
(2) 求出 C_o 的逻辑函数表达式

$$C_o=\bar{A}\cdot B\cdot C_i+A\cdot\bar{B}\cdot C_i+A\cdot B\cdot\bar{C}_i+A\cdot B\cdot C_i$$

A	B	C_i	C_o	
0	0	0	0	
0	0	1	0	
0	1	0	0	
0	1	1	1	$\bar{A}\cdot B\cdot C_i$
1	0	0	0	
1	0	1	1	$A\cdot\bar{B}\cdot C_i$
1	1	0	1	$A\cdot B\cdot\bar{C}_i$
1	1	1	1	$A\cdot B\cdot C_i$

试用卡诺图化简逻辑函数表达式。

试根据逻辑函数表达式画出逻辑电路。

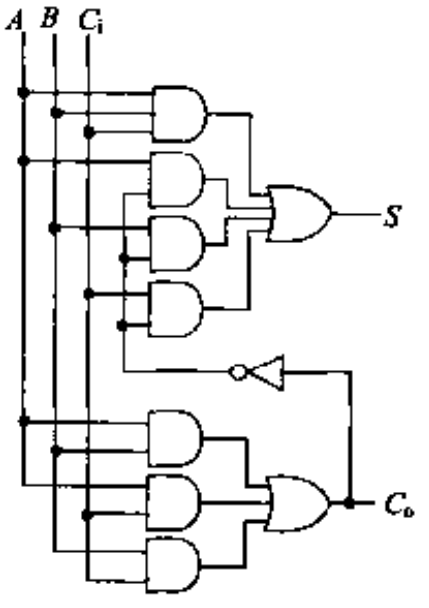


(全加器的基本电路)

博士　上述电路复杂而且元器件多，但将 S 与 C_o 的表达式变成

$$S=(A+B+C_i)\cdot\bar{C}_o+A\cdot B\cdot C_i$$

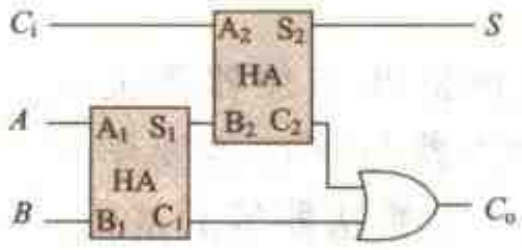
而画出的电路图如下所示：



(诺依曼(Neumann)全加器)

这个电路应用广泛，称为诺依曼全加器。

另外，也可以用二个半加器构成一个全加器。

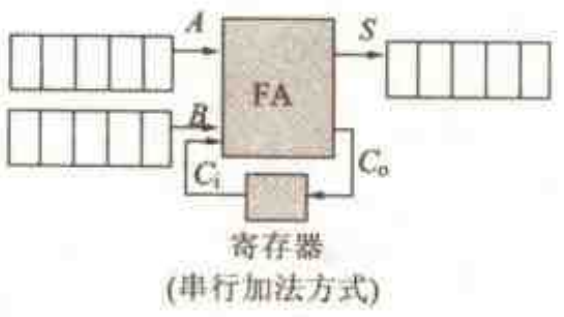


小明 半加器只能进行 1 位的加法，但用全加器可进行多位加法。

博士 为了用全加法器进行多位加法，可考虑采用串行加法和并行加法两种方式的电路 。

(1) 串行加法方式

这是从低位到高位逐位相加的方法，若进行 1 位的加法，则进位信号暂存在用于计算的寄存器中。

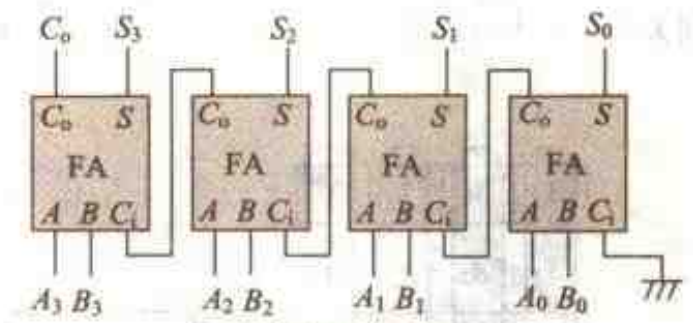


(串行加法方式)

串行加法方式由于采用加法数据逐位移位的方式，因此，有运算速度慢的缺点，但优点是电路构成简单。

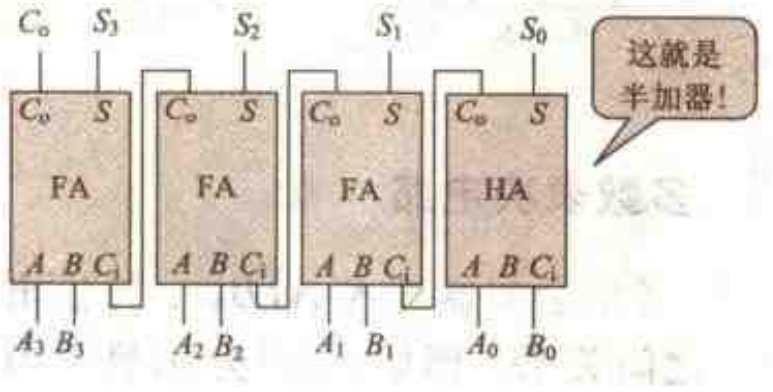
(2) 并行加法方式

这种方式是与计算位相同的全加器并行使用，电路复杂，但运算速度快。

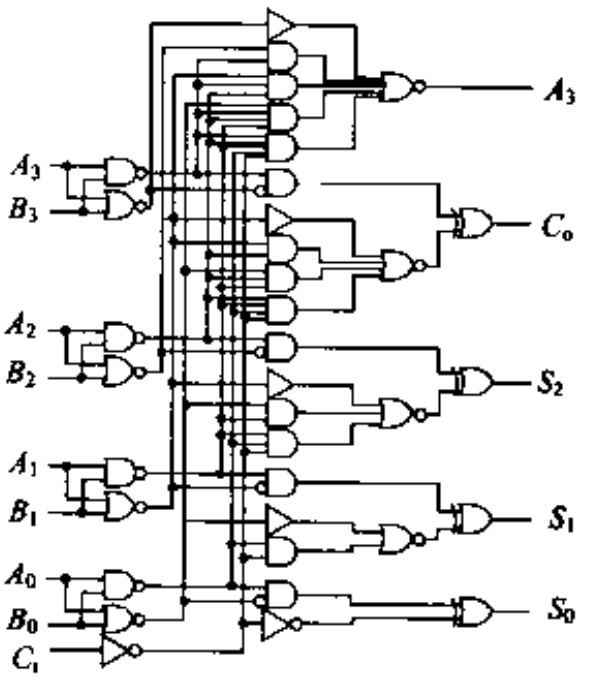


(并行加法方式)

小丽 对于并行加法方式，也可以在最低位用半加器。



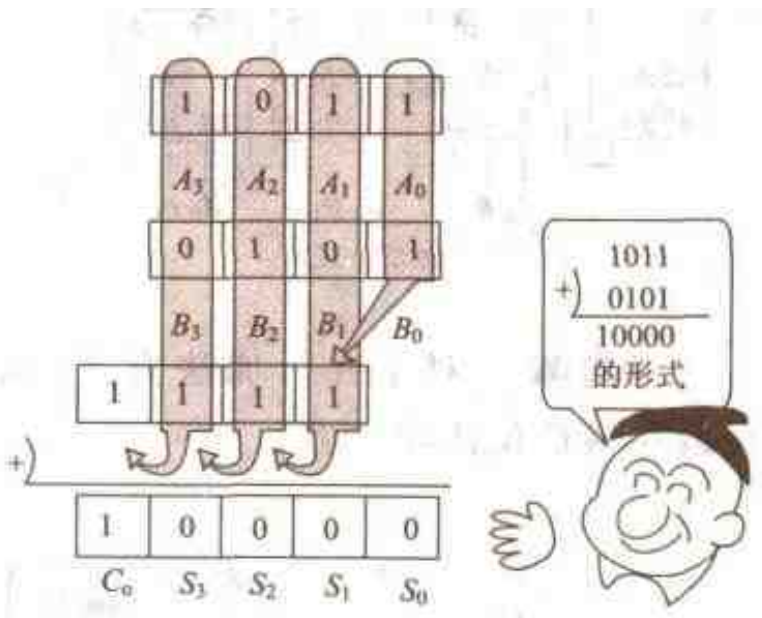
博士 使用并行加法方式的 4 位加法的集成电路有 74LS83。这种集成电路的诺依曼全加器是基本的全加器。



(74LS83的内部电路)

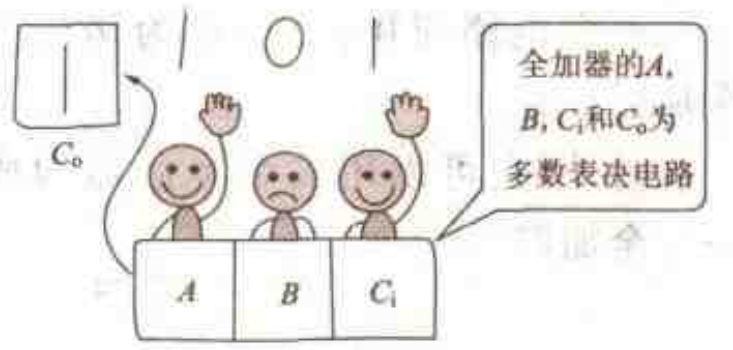
试实际确认一下用并行加法方式进行加法的形式。

（例）1011＋0101



多数表决电路

考察全加器输入 A，B，C_i 与输出 C_o 之间关系。例如，反对为 0，赞成为 1，输入 A，B，C_o 中限于二个以上赞成时，输出 C_o 变为 1。这种电路称为多数表决电路，这在第 1 章中已经学习过。



全加器和半加器都能充分理解吗？加法器是下面将要学习的减法器、除法器、乘法器等的基础，因此，花点时间继续学习吧。

练习题

问题 1　半加器和全加器有何不同。

解答

半加器不能接受来自一个低位的进位信号，但全加器能这样做。

2 减法电路

主要学习用逻辑电路进行的减法运算



减　法

博士　可用与加法电路的同样方式构成二进制数的减法电路。

另外，若使用补码方式，则减法变为加法。也就是说，可用加法电路进行减法运算。先学习用补码做减法运算的方法。

小明　何谓补码？

博士　二进制数的补码有 1 的补码和 2 的补码。若考虑 4 位二进制数，例如，$B_3\ B_2\ B_1\ B_0$，则 1 的补码就是组成

$$B_3\ B_2\ B_1\ B_0 + X_3\ X_2\ X_1\ X_0 = 1111$$

中的 $X_3\ X_2\ X_1\ X_0$。1 的补码可通过 $B_3\ B_2\ B_1\ B_0$ 各位的反相求出。

小丽　例如，二进制数 0110 的 1 的补码是 1001 吧。

博士　是这样的。

$0110+1001=1111$。

再看一下 2 的补码，若考虑 4 位二进制数，例如，$B_3\ B_2\ B_1\ B_0$，则 2 的补码就是组成

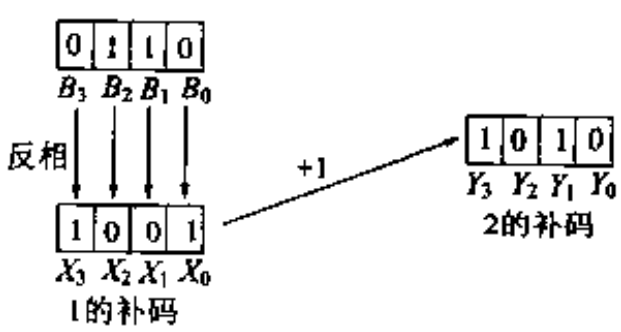
$$B_3\ B_2\ B_1\ B_0 + Y_3\ Y_2\ Y_1\ Y_0 = 10000$$

中的 $Y_3\ Y_2\ Y_1\ Y_0$。因此，2 的补码可通过 $B_3\ B_2\ B_1\ B_0$ 各位的反相加上 1 求出。

小明　也就是说，2 的补码是 1 的补码加上 1 吧。例如，2 进制数 0110 的 2 的补码为 1001(1 的补码)+1=1010。

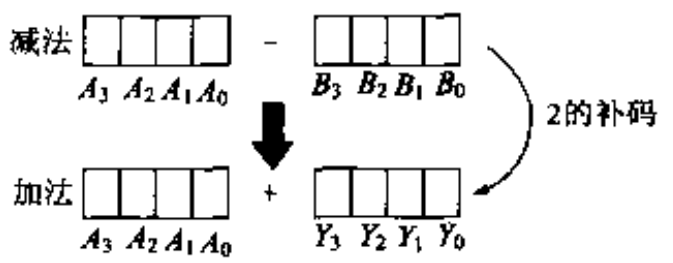
博士　是这样的。

$0110+1010=10000$



小丽　补码的意思已弄清楚了，但如何将减法变为加法呢？

博士　试考察 $A_3\ A_2\ A_1\ A_0 - B_3\ B_2\ B_1\ B_0$ 的计算，若 $B_3\ B_2\ B_1\ B_0$ 的 2 的补码假定为 $Y_3\ Y_2\ Y_1\ Y_0$，则减法就变为 $A_3\ A_2\ A_1\ A_0 + Y_3\ Y_2\ Y_1\ Y_0$ 这样的加法。



问题 1

试将 1101−0110 变为加法并进行运算。

解答

① 求出 0110 的 2 的补码。

$$0110 \xrightarrow{\text{反相}} 1001 \xrightarrow{+1} 1010$$

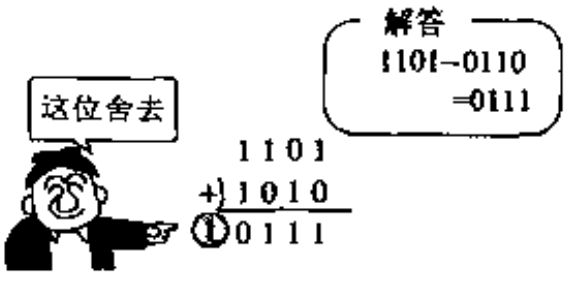
1 的补码　2 的补码

② 将减法变为加法。

$$1101-0110 \rightarrow 1101+1010$$

减法　　加法

③ 进行加法运算。运算结果的最高位 1 舍去。



博士　至今说明的 $A_3\ A_2\ A_1\ A_0 - B_3\ B_2\ B_1\ B_0$ 中 $A_3\ A_2\ A_1\ A_0 \geqslant B_3\ B_2\ B_1\ B_0$，即解答为正数的运算。下面考察 $A_3\ A_2\ A_1\ A_0 < B_3\ B_2\ B_1\ B_0$，即解答为负数的运算。

问题 2

将 0110−1101 变为加法再进行运算。

解答

这个减法是 0110＜1101，因此，解答是负数。

运算的步骤与上述一样。

① 求出 1101 的 2 的补码。

$$1101 \xrightarrow{\text{反相}} 0010 \xrightarrow{+1} 0011$$

1 的补码　2 的补码

② 将减法变为加法。

$$0110-1101 \rightarrow 0110+0011$$

减法　　加法

③ 进行加法运算。

$$\begin{array}{r} 0110 \\ +)\ 0011 \\ \hline 1001 \end{array}$$



④ 求出计算结果的 2 的补码。

0111 是解答的绝对值。即

0110−1101＝−0111。

小明　当 $A_3\ A_2\ A_1\ A_0 < B_3\ B_2\ B_1\ B_0$ 时，进行减法运算的结果应是负数，因此，要对变为加法的计算结果再求出 2 的补码，这个结果是绝对值，前面加上负号才是正确的解答。

□ □□□□−□ □□ □
$A_3A_2A_1A_0$　$B_3B_2B_1B_0$

$A_2A_2A_1A_0 < B_3B_2B_1B_0$ 时

通过□□□□＋□□□□（$B_3\ B_2\ B_1\ B_0$ 的补码）

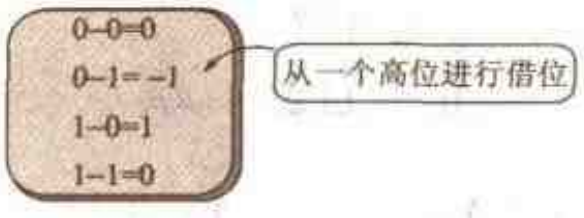
$A_3A_2A_1A_0$　$Y_3\ Y_2Y_1\ Y_0$

求出 2 的补码形式的解答。

半减器

博士　进行两个 1 位数据减法运算的逻辑电路称为半减器。

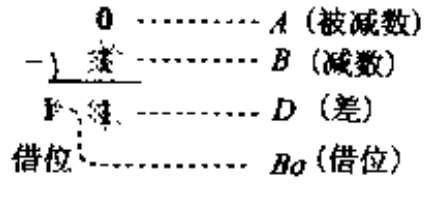
小丽 两个 1 位数据减法的组合有以下几种形式：



进行 0－1 时，解答是负数。

博士 0－1 时，差为 1。

考虑从一个高位的借位情况。



小明 半减器的真值表如下所示：

A	B	D	B_o
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0

（半减器的真值表）

试根据真值表求出加法标准式的逻辑函数表达式。

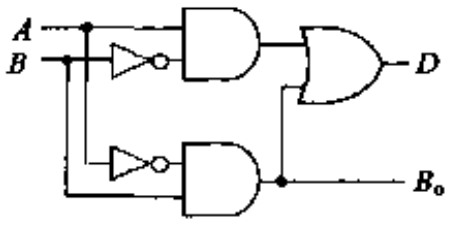
(1) 求出 D 的逻辑函数表达式

A	B	D	
0	0	0	
0	1	1	$\rightarrow \bar{A}\cdot B$
1	0	1	$\rightarrow A\cdot\bar{B}$
1	1	0	$D=\bar{A}\cdot B+A\cdot\bar{B}$

(2) 求出 B_o 的逻辑函数表达式

A	B	B_o	
0	0	0	
0	1	1	$\rightarrow \bar{A}\cdot B$
1	0	0	
1	1	0	$B_o=\bar{A}\cdot B$

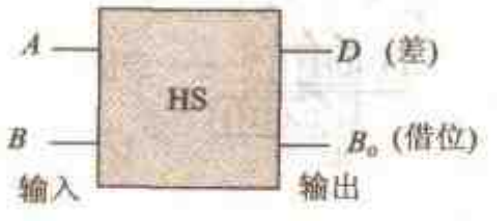
根据逻辑函数表达式画出逻辑电路图。



（半减器的基本电路）

博士 很好。

半减器的图形符号用以下方框表示，HS 是 Half Subtractor 的缩写。

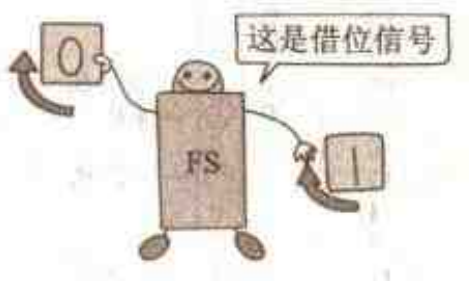


（半减器的图形符号）

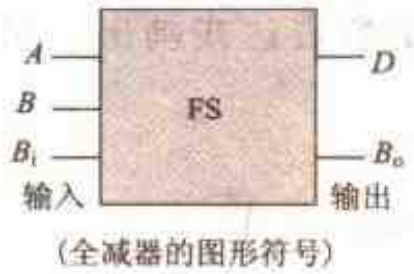
半减器不能接受从低位的借位信号，因此，不能进行多位的减法运算。也就是说，半减器与半加器一样，只能进行 1 位的减法计算。

全减器

小丽 全减器可对高位提供借位信号，并能接受来自低位的借位信号。

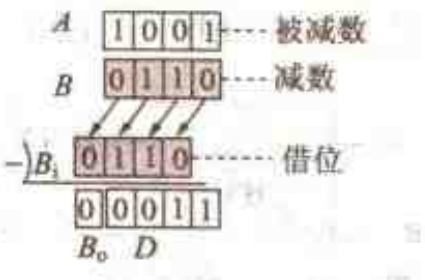


博士 是这样的。全减器是在半加器中增加一种功能的减法器，这种功能是能接受低位的借位。



（全减器的图形符号）

计算时，从被减数（A）与减数（B）的差中减去接受的低位的借位信号（B_i），将差（D）与高位的借位信号（B_o）的两个数据作为输出。



全减器的真值表如下所示。

A	B	B_i	D	B_o
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	1	1
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1



小明　与全加器一样，根据真值表求出逻辑函数表达式。

（1）求出 D 的逻辑函数表达式

A	B	B_i	D	
0	0	0	0	
0	0	1	1	$\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot B_i$
0	1	0	1	$\overline{A}\cdot B\cdot\overline{B_i}$
0	1	1	0	
1	0	0	1	$A\cdot\overline{B}\cdot\overline{B_i}$
1	0	1	0	
1	1	0	0	
1	1	1	1	$A\cdot B\cdot B_i$

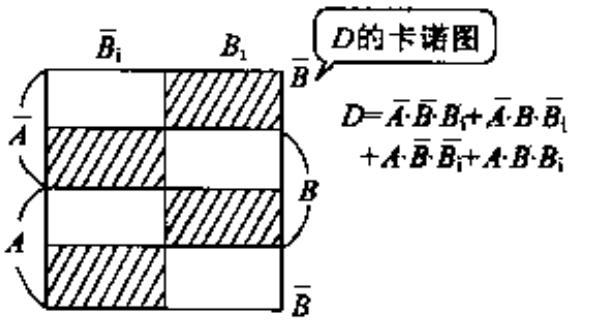
$$D=\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot B_i+\overline{A}\cdot B\cdot\overline{B_i}+A\cdot\overline{B}\cdot\overline{B_i}+A\cdot B\cdot B_i$$

（2）求出 B_o 的逻辑函数表达式

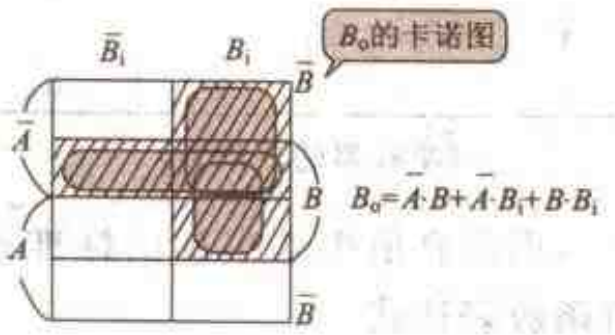
A	B	B_i	B_o	
0	0	0	0	
0	0	1	1	$\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot B_i$
0	1	0	1	$\overline{A}\cdot B\cdot\overline{B_i}$
0	1	1	1	$\overline{A}\cdot B\cdot B_i$
1	0	0	0	
1	0	1	0	
1	1	0	0	
1	1	1	1	$A\cdot B\cdot B_i$

$$B_o=\overline{A}\cdot\overline{B}\cdot B_i+\overline{A}\cdot B\cdot\overline{B_i}+A\cdot\overline{B}\cdot B_i+A\cdot B\cdot B_i+A+B+B_i$$

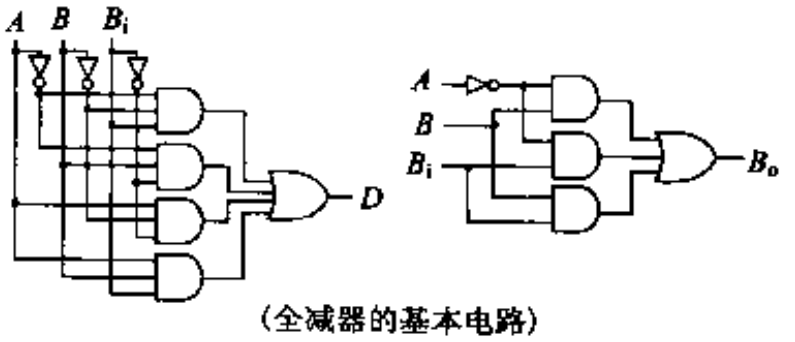
画出卡诺图，由图可知 D 不能化简。



对 B_o 化简如下：



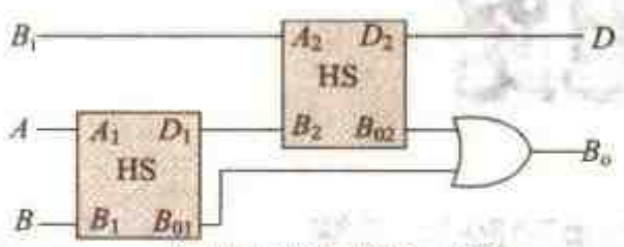
试根据逻辑函数表达式画出逻辑电路图。



（全减器的基本电路）

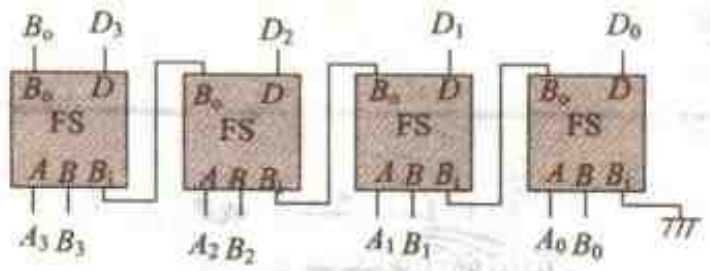
博士　非常好。也可以用两个半减器组成一个全减器。

小丽 半减器只能进行 1 位的减法，但全减器可进行多位减法。



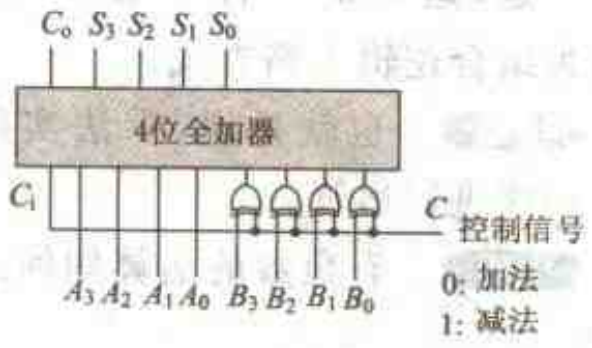
（用半减器组成的全减器）

博士 用全减器进行多位减法的并行加法方式的电路如下所示：



加减电路

博士 用一个电路可对加减运算进行切换，这种电路称为加减电路。



控制信号为 0 时，数据 B 不变，因此，解答是 $A+B$ 的结果。控制信号为 1 时，B 由异或电路变为 2 的补码。即减法变为加法，解答是减法的结果。但是，解答是负数时输出是 2 的补码形式。

练习题

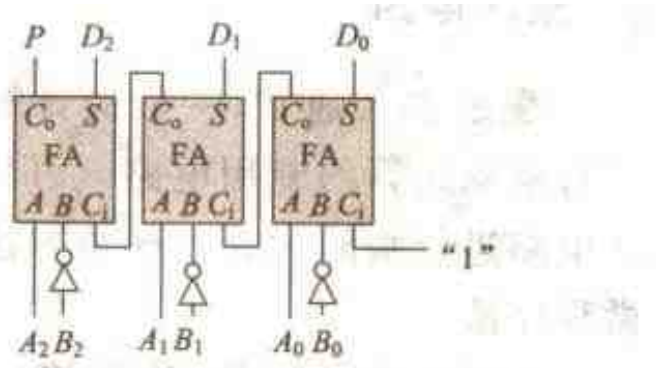
问题 1 试考察用 2 的补码对 3 位减法进行运算的电路（用全加器）。

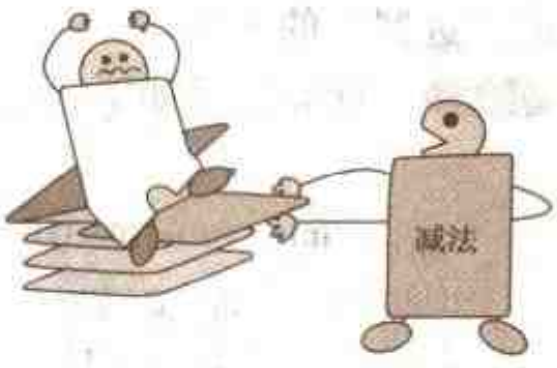
解答

P 为符号位

0：正

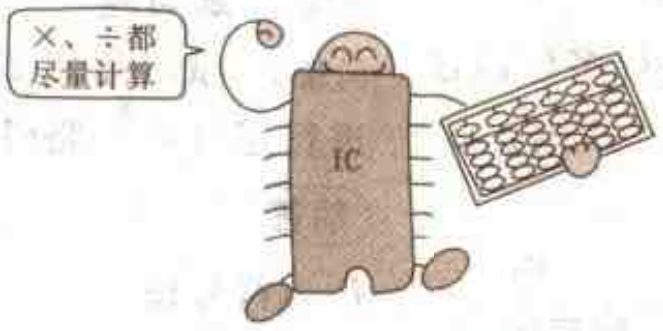
1：负





3 乘法和除法电路

主要学习用逻辑电路进行的乘法和除法运算



乘法电路

博士　通常，一般的计算机中没有乘除运算的专用电路。可用加减法电路进行乘除运算。这种方法称为微程序法。

先说明乘法运算，请笔算 1011×1101 的二进制数的乘法。

小明　计算过程如下：

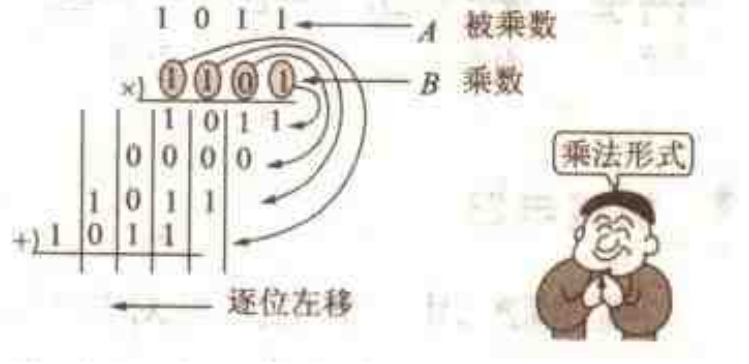
```
  1011
×)1101
  1011
 0000
1011
+)1011
1000111
```

1011×1101=10001111



博士　请仔细观察笔算方法。

现从加数 B 的最低位开始分析逐位的情况 B 位 0 时为 0000，1 时为被加数 A，进行加法运算。

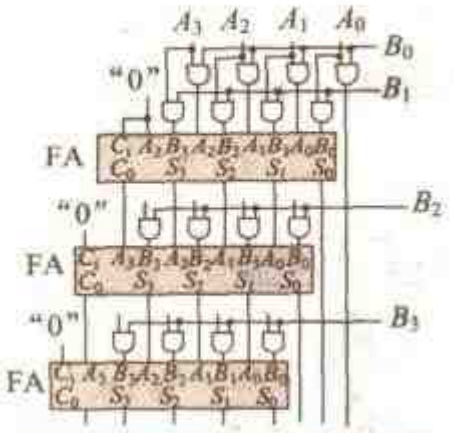


但是，运算时要注意逐位左移。这称为组合逻辑电路方式。

博士　也就是说，乘法实际上可用加法进行运算。

小明　有负数的运算如何进行呢？

博士　即使是负数，但运算方法不变。A，B 都按正数计算之后，若 A，B 中任一个为负数，只要将计算结果前面加上负号即可。下面示出的是组合逻辑电路方式的乘法电路，若有余数，试分析电路工作情况。电路复杂，但可按笔算相同步骤进行计算。



(组合逻辑电路方式的乘法电路)

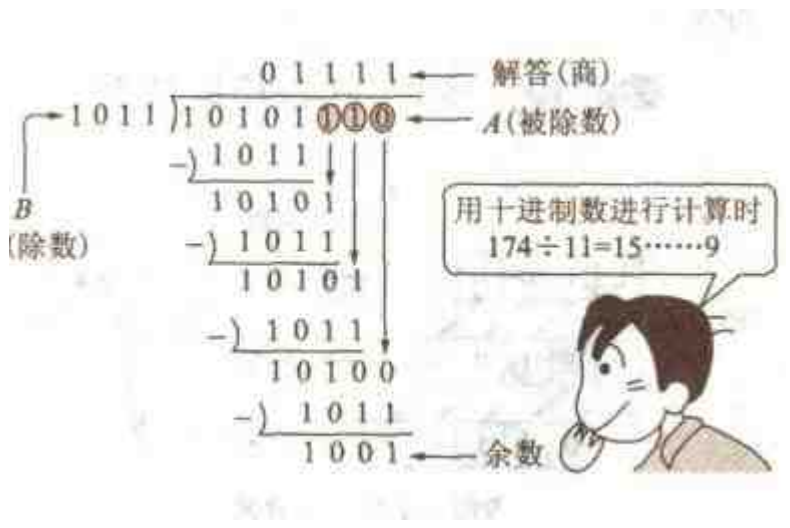
小丽 实际上只考虑数值即可。

除法电路

博士 用逻辑电路进行除法运算时,也可以考虑与用笔算的方法一样。例如,请做下列二进制数的除法看看。

10101110÷1011

小明 对于二进制数除法与十进制数除法,计算方法也一样吧。



小丽 仔细考察一下小明同学的计算方法。

先考虑如何从1010中减去1011,这里,要能做减法就是要判断1010－1011不能为负数。判断结果不能从1010中减去1011,原因是解答为负数,因此商(除法解答)为0。

$$\begin{array}{r} 0 \\ 1011\overline{)\,1010\,1110} \end{array}$$

1010－1011 ——→ 为负数

再将除数A增加1位,考虑如何从10101中减去1011。

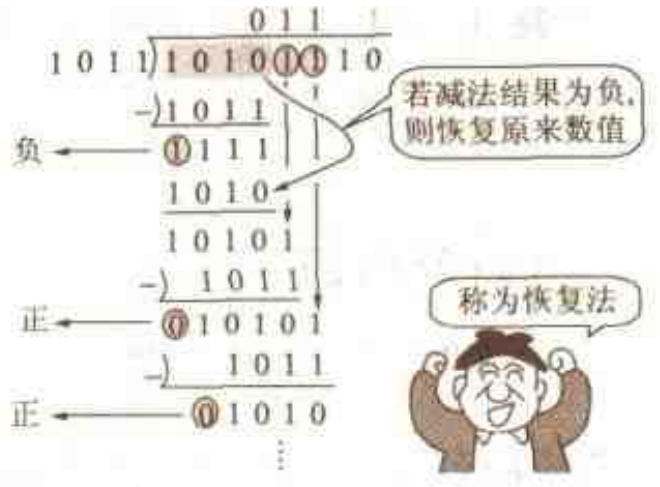
$$\begin{array}{r} 01 \\ 1011\overline{)\,10101\,110} \\ -)\,1011 \\ \hline 01010 \end{array}$$

判断结果为正数,因此,能从10101中减去1011,所以商为1,接着做10101－1011的减法运算。

按照同样方法,继续计算直到A的最低位为止。

博士 先是考虑如何从1010中减去1011,但逻辑电路不具备这种思考能力。实际上先做减法试试看,根据减法结果是正还是负,决定是做减法还是不做减法。

若减法结果为正,则商置1;若为负,则商置0。观察减法结果的最高位,就可以判断减法结果是正还是负,最高位为0,则减法结果为正,最高位为1,则结果为负。减法结果为负时有必要恢复原来数值。

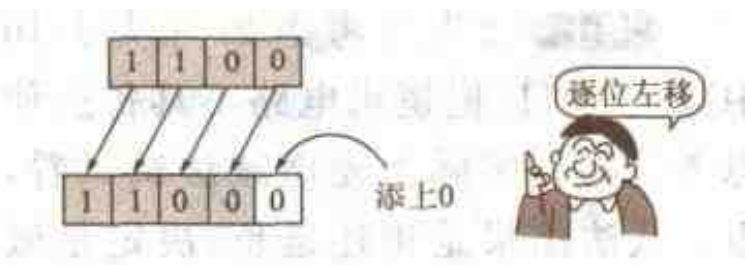


在计算过程中，若减法结果为负，则恢复原来数值，因此，这种方法称为拉回法或恢复法。

移位进行乘除法运算

博士 将二进制数进行×2，×4，×8，…，$\times 2^n$ 乘法运算，或者进行÷2，÷4，÷8，…，$\div 2^n$ 除法运算时，都有简单的计算方法。

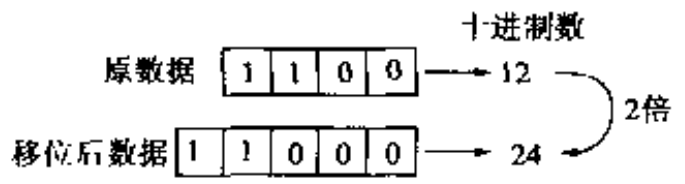
例如，考察1100数据实例，该数据逐位左移，这称为数据移位。



在最低位添上0。

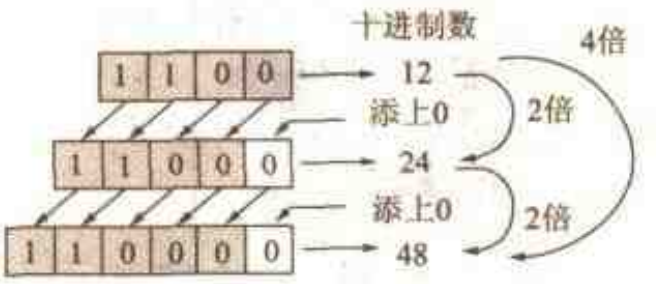
移位结果与原数据之间关系如何呢？

小明 二进制数难以理解，因此，改为十进制数看看。



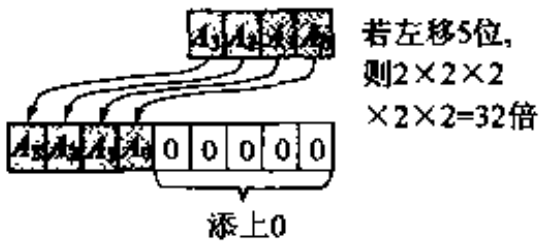
左移结果的数据是原数据的2倍。

小丽 再左移1位试试。



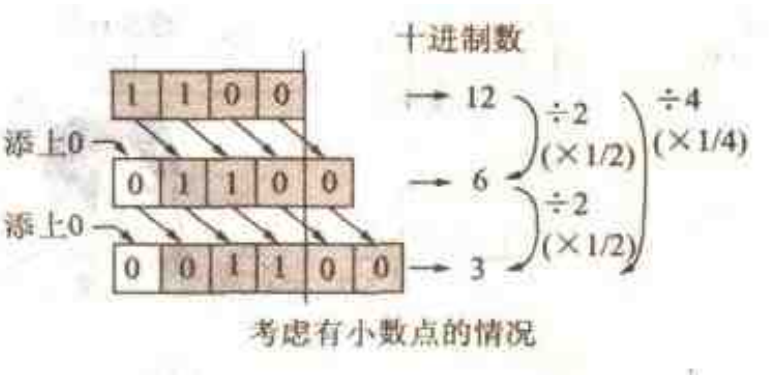
小明 二进制数左移1位，数据也为原数据的2倍吧。

博士 是这样。例如，某数的32倍可以分解为 $32=2\times2\times2\times2\times2=2^5$，因此，将某数左移5位即可。



小丽 若将数据右移，结果如何呢？

小明 将1100右移试试看。

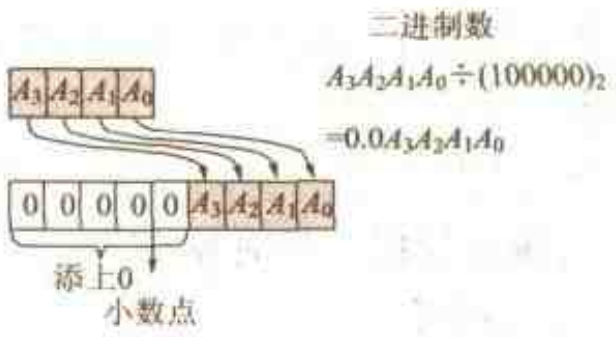


数据右移1位后是原数据的1/2，2位后是原数据的1/4。

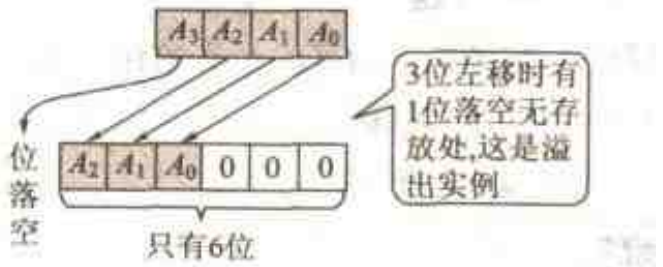
小丽 二进制数右移1位，数据为原数据的1/2倍。

博士 是这样的。例如，某数

据用 32 除，即为 $32=2^5$ 后，右移 5 位即可。



但构成实际电路时，一定要注意确保移位后数据完整存放的区域。左移结果位落空称为溢出，右移结果位落空称为下溢。

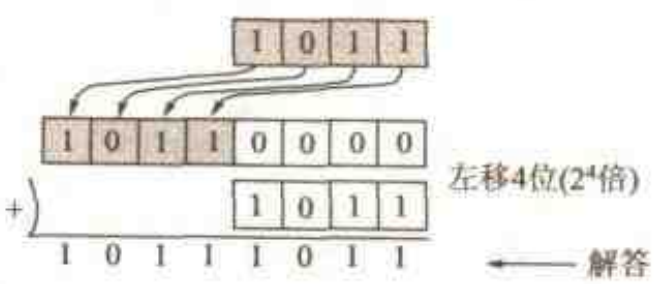


问题 1

试考虑用移位方法计算二进制数 1011×10001。

解答

$$\begin{aligned}1011\times10001 &= 1011\times(10000+1)\\ &= 1011\times10000+1011\\ &= 1011\times2^4+1011\end{aligned}$$



也就是说，1011 左移 4 位即在前面再补上 1011 即可。

小明 若熟练地应用移位技术，就能简单地进行乘除法运算。

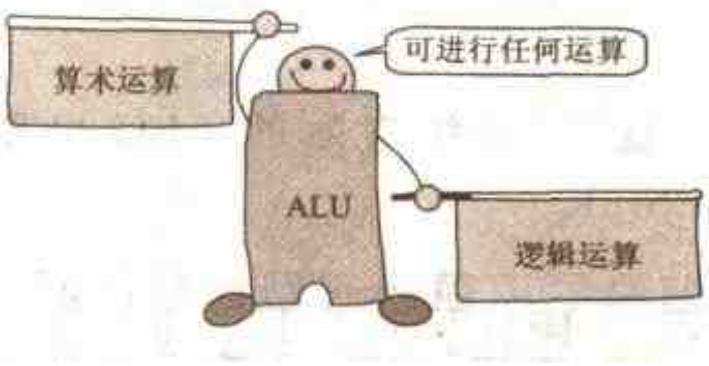
算术运算和逻辑运算

博士 本章学习的算术运算与第 1 章学习的逻辑运算不同，请注意这一点。

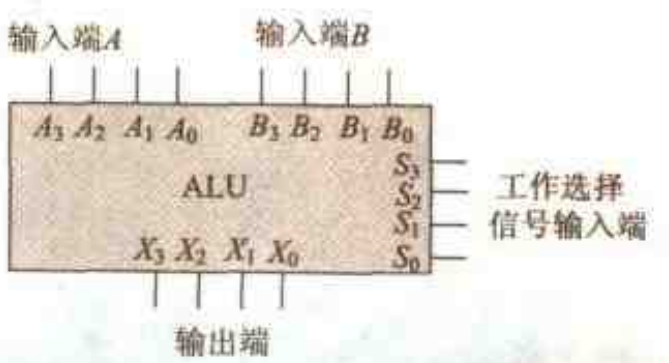
例如，1011 与 1101 进行逻辑运算的逻辑积是每位相与，结果为 1001。

算术逻辑运算单元(ALU)

博士 本章学习了进行算术运算的加法电路、减法电路、乘法电路和除法电路。另外，第 1 章还学习了逻辑和、逻辑积等的逻辑运算。



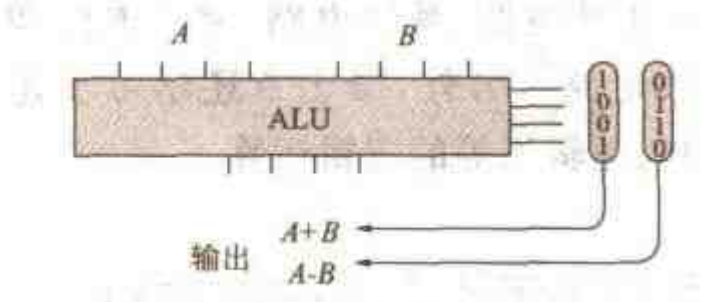
实际上这些运算电路都是单个结构，要根据运算种类不同进行切换，工作效率不高。因此，现在介绍一种算术逻辑运算单元(ALU)。ALU 是 Arithmetic Logic Unit 的缩写。这是一种进行算术运算和逻辑运算这两种运算的集成电路。



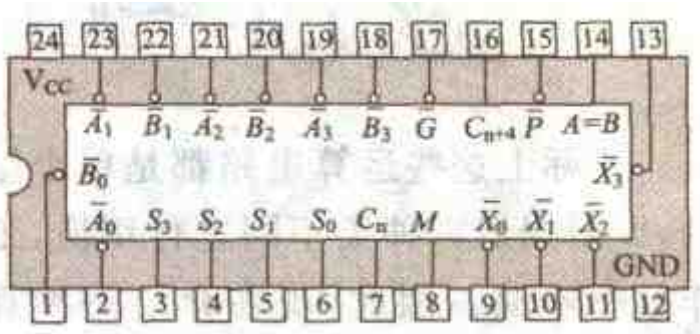
小丽　若1片集成电路能进行各种运算，则要求进行多种运算时这种电路非常方便。

博士　ALU有2组输入端与1组输出端，并具有工作选择信号输入端。根据工作选择信号输入端的输入信号选择运算的种类。

例如，工作选择信号输入端输入1001时，选择A＋B运算，输入0110时，选择$A-B$运算。



这里，介绍实际的ALU电路74LS181。



$A_0 \sim A_3$
$B_0 \sim B_3$ } 输入数据

$X_3 \sim X_0$：输出数据

M：方式“1”→逻辑运算，“0”→算术运算

$S_3 \sim S_0$：工作选择

$A=B$：输入数据相等时输出“1”

C_n，C_{n+4}：进位

G，P：多个ALU连接时使用

ALU是根据工作选择信号输入端的输入信号，进行各种运算的万能集成电路。

练习题

问题1　试考虑下列算术运算的计算方法。

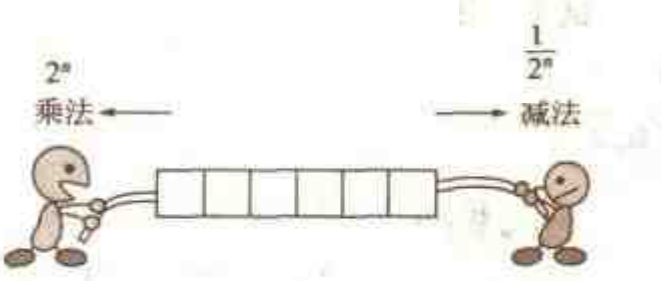
① 1000101×1000000

② 1001101÷100000

解答

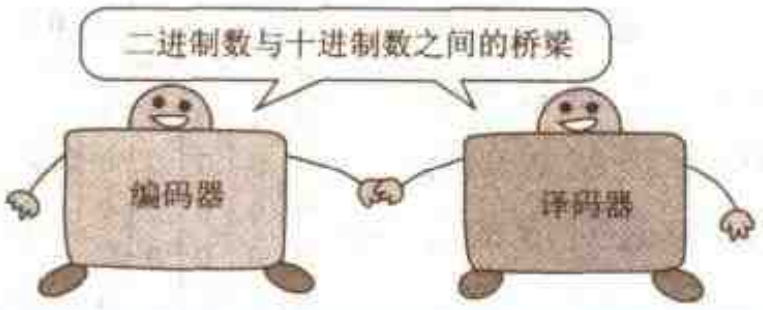
① 1000101左移6位。

② 1001101右移5位。



4 编码器与译码器

学习十进制数变换为二进制数的电路



编码器

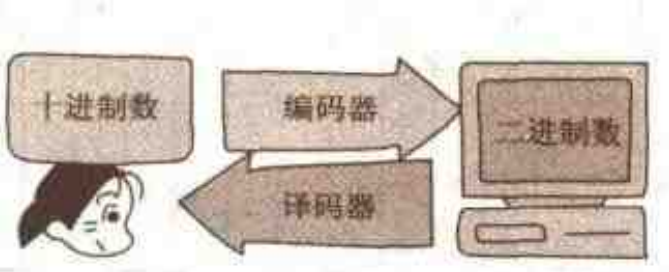
博士 将若干个二进制数码 0 和 1，按一定规律进行编排，组成不同的代码，并且赋于每组代码以特定的含义，叫做编码。实现编码功能的数字电路称之为编码器。将每一组输入二进制代码翻译成为一个特定的输入信号，用来表示该组代码原来所代表的信息的过程称为译码。实现译码功能的数字电路称之为译码器。



小明 编码器和译码器工作过程正好相反。

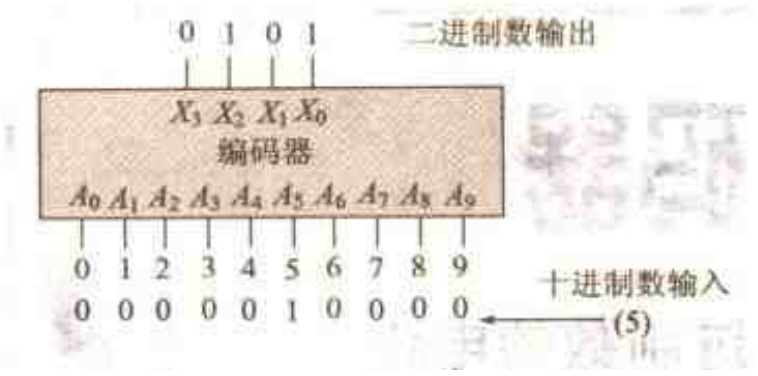
博士 是这样。然而，数字电路中，这种代码不仅是信息，还包括数字电路处理的代码（二进制数、十六进制数、BCD 等）。

小萌 例如，十进制数变换为二进制数的电路称为编码器，反之，二进制数变换为十进制数的电路称为译码器。



博士 是这样。先考察一下十进制数变换为二进制数的编码器。

十进制数输入端输入的数为十位，与这十位各输入端对应的是从 0 到 9。例如，若十进制数的 5，则在 A_5 端输入 1 电平信号，其余端输入 0 电平信号。



十进制数的0到9对应二进制数的0000到1001，这时，二进制数输出端需要4位。实例中，十进制数的输入端输入5时，输出端与之对应的二进制数应为0101。

小明 该译码器的真值表如下。

A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	X_3	X_2	X_1	X_0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1

（十进制数→二进制数编码器的真值表）

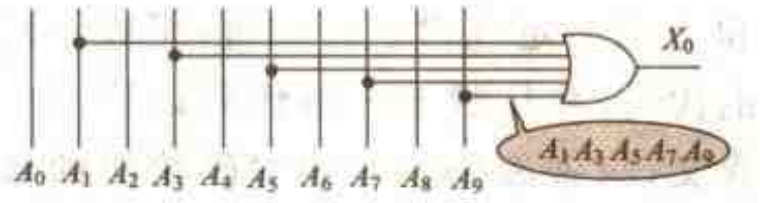
博士 试根据真值表画出逻辑电路。当然，要根据已学习过的真值表导出加法标准式的逻辑表达式，也可以返回到逻辑表达式设计电路。然而，这里简单说明设计编码器电路的步骤。

编码器的设计方法

① 输出 X_0 为1电平时对应的输入为 A_1，A_3，A_5，A_7，A_9。

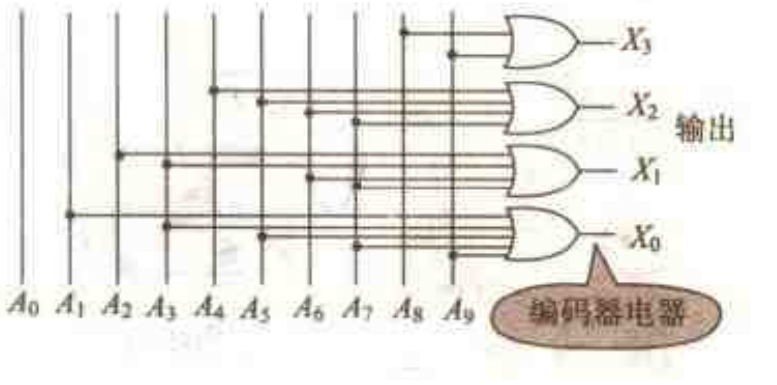
A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	X_3	X_2	X_1	X_0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	(1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	(1)
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	(1)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	(1)
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	(1)	0	0	0	0	0	1	0	(1)
0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	(1)	0	0	0	1	1	(1)
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	(1)	1	0	0	(1)

将这些对应的输入接到或门电路的输入端。



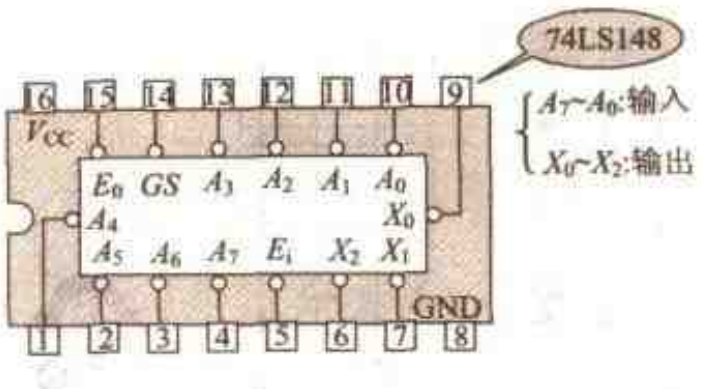
② 其他输出端 X_1，X_2，X_3 也按同样方法接线。

因此，设计的十进制数→二进制数的逻辑电路如下。



编码器集成电路

博士 看看实际的编码器集成电路74LS148。



74LS148 是将十进制数从 0 到 7 变成二进制数从 000 到 111 的编码集成电路。

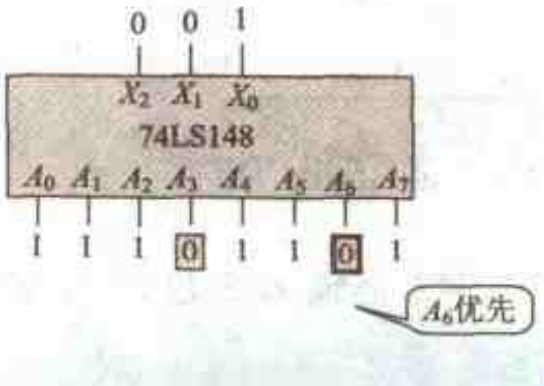
E_1	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	X_2	X_1	X_0
1	√	√	√	√	√	√	√	√	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	√	√	√	√	√	√	√	0	0	0	0
0	√	√	√	√	√	√	0	1	0	0	1
0	√	√	√	√	√	0	1	1	0	1	0
0	√	√	√	√	0	1	1	1	0	1	1
0	√	√	√	0	1	1	1	1	1	0	0
0	√	√	0	1	1	1	1	1	1	0	1
0	√	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

√: 0,1均可



小明 编码器输入端同时输入二个以上的 1 电平信号时，电路将如何工作呢？

博士 例如，考虑 A_6 和 A_3 同时输入 1 电平信号的情况，由于该集成电路是负逻辑工作，因此，A_6 和 A_3 变成同时输入 0 电平信号。这时，高位 A_6 输入优先，而 A_3 输入信号无效。即在输出端呈现负逻辑 001（正逻辑 110）。74LS148 称为优先编码器，具有高位输入优先功能。

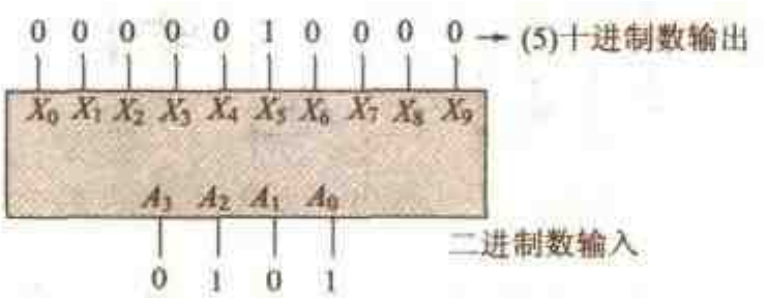


多个集成电路连接成多输入编码器时，使用 E_0，E_1 和 GS 端子。

译码器

博士 现在看看编码器的逆过程的二进制数→十进制数的译码器。

输入二进制数相应的十进制数输出端仅输出 1 电平信号即可。例如，输入二进制数 0101 时，则仅输出端 X_5 输出 1 电平信号。



小丽 先列出真值表。由真值表看到，它的输入输出与编码器真值表正好相反。

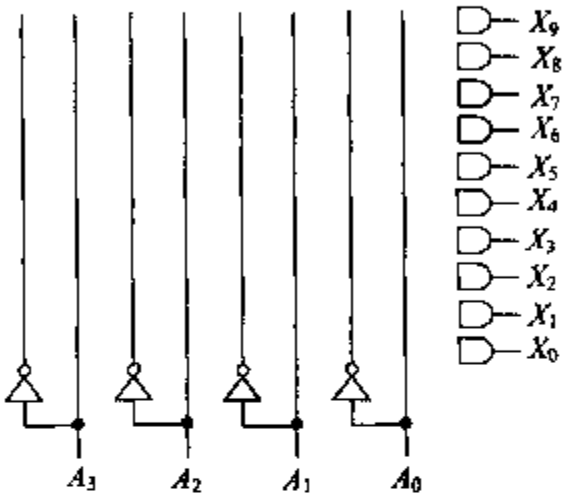
A_3	A_2	A_1	A_0	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

（二进制数→十进制数译码器）

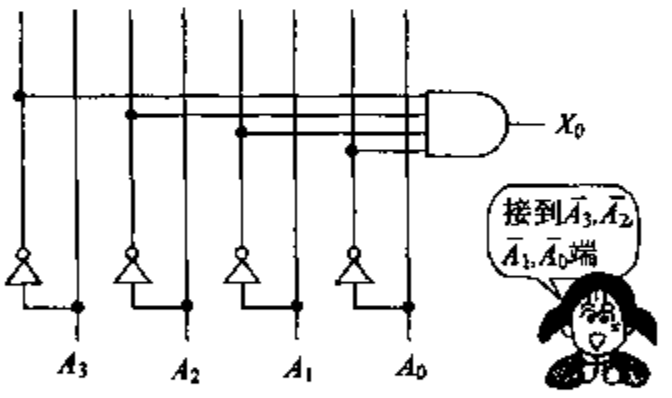
博士 根据真值表设计译码器电路的方法。

译码器电路的设计方法

（1）先画出与输入反相的信号线，然后并排画出与门电路，其与门电路的个数等于输出数据的位数。

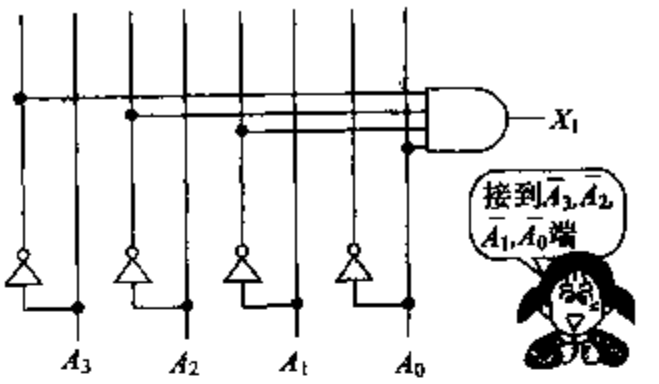


（2）译码器输入为 0000 时，只有输出端 X_0 输出不是 1 电平信号，因此，X_0 输出是输入端 A_3，A_2，A_1，A_0 的反相相与的结果。



如果这样连接，X_0 输出 1 电平信号，仅限于 A_3，A_2，A_1，A_0 输入都是 0 电平信号。

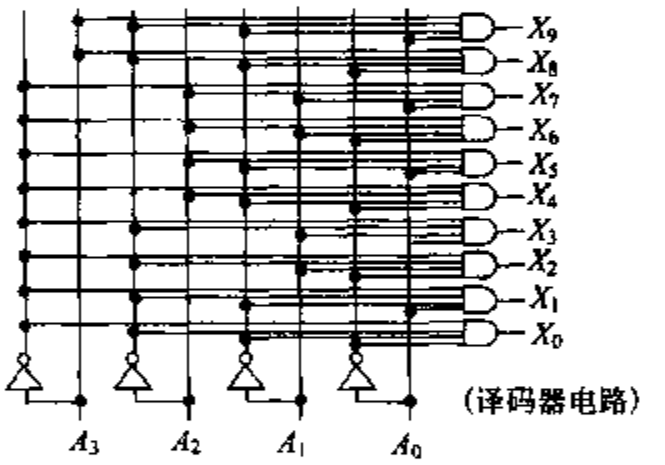
（3）译码器输入 0001 时，只有输出端 X_1 输出 1 电平信号，因此，X_1 是 A_3，A_2，A_1 的反相与 A_0 相与的结果。



如果这样连接，限于 A_3，A_2，A_1，A_0 各自输入信号为 0001 时，X_1 输出 1 电平信号。

（4）可类似考虑其他端子的接线。

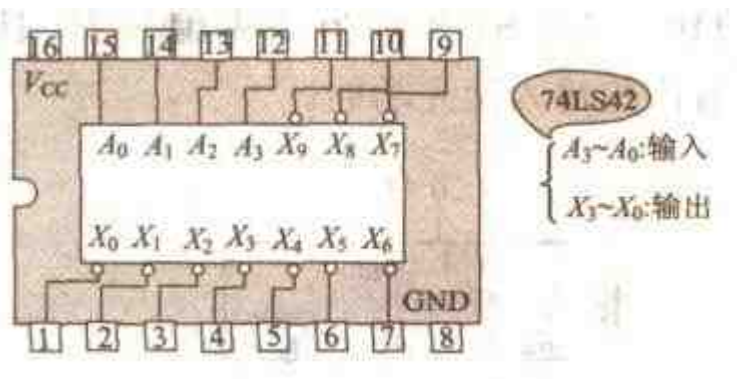
设计的二进制数→十进制数译码器电路如下图所示。



（译码器电路）

译码器集成电路

博士　现考察一下译码器集成电路 74LS42。



74LS42 是输入二进制数 0000 到

1001 对应输出十进制数 0 到 9 的译码器集成电路，注意电路采用负逻辑。



BCD 码

博士 二-十进制编码简称 BCD 码。十进制数与 BCD 码对应表如下所示。

小丽 对应十进制数到 9 以下的 BCD 码与普通二进制数一样，但以后就不同了。

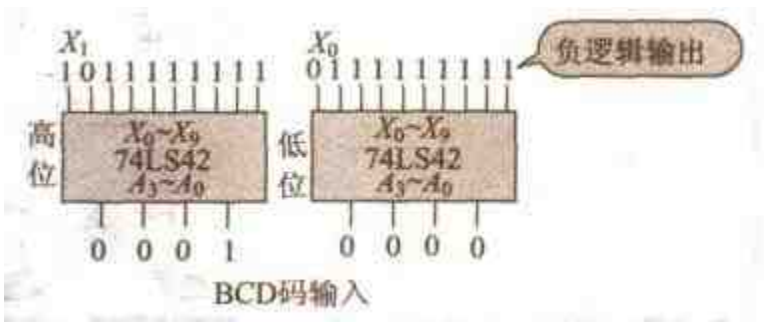
十进制数	BCD	
0	0000	0000
1	0000	0001
2	0000	0010
3	0000	0011
4	0000	0100
5	0000	0101
6	0000	0110
7	0000	0111

十进制数	BCD	
8	0000	1000
9	0000	1001
10	0001	0000
11	0001	0001
12	0001	0010
13	0001	0011
14	0001	0100
⋮		

（十进制数-BCD 码对应表）

博士 考察一下用二个译码器集成电路 74LS42 构成 10（十进制数）以上的输出电路。

1 片 74LS42 不能输入二进制数的 1010，其中 1010 对应于十进制数的 10。因此输入对应十进制数的 10 时，要用两片 74LS42，其中高位 74LS42 输入 0001，低位 74LS42 输入 0000。



小明 也就是用 BCD 码显示。

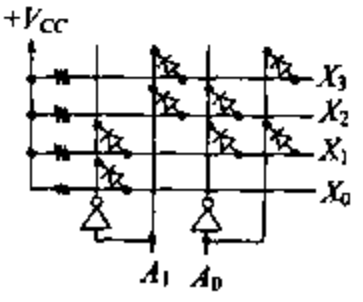
博士 是这样。这里 74LS42 称为 BCD-十进制译码器。但对于十进制数 9 以下的值，普通的二进制数与 BCD 码完全相同，因此，不必要特别将其区分开。

练习题

问题 1 试用二极管构成二进制数（2 位）→十进制数（4 位）的译码器电路。

A_1	A_1	X_0	X_1	X_2	X_3
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

解答



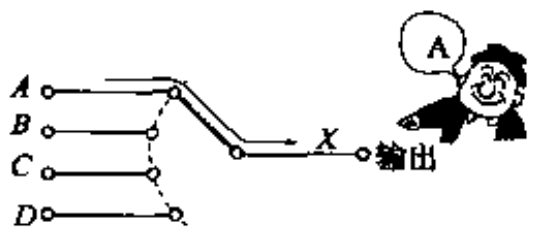
5 多路复用器和反多路复用器

学习选择和分配数据的电路



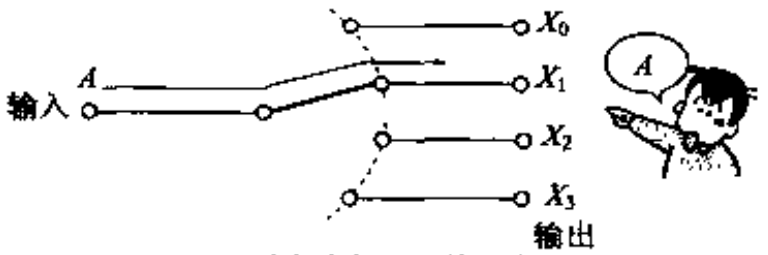
多路复用器和反多路复用器

博士　多路复用器也称为数据选择器，它是从多个数据中选择一个数据的电路。



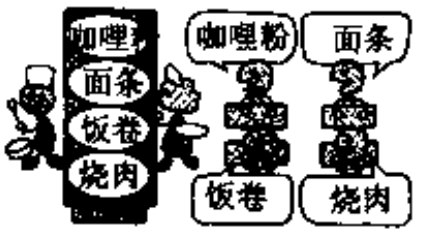
(多路复用器的示意图)

而反多路复用器也称为数据分配器，它是把一个数据分配给由多条数据线中任一条输出的电路。

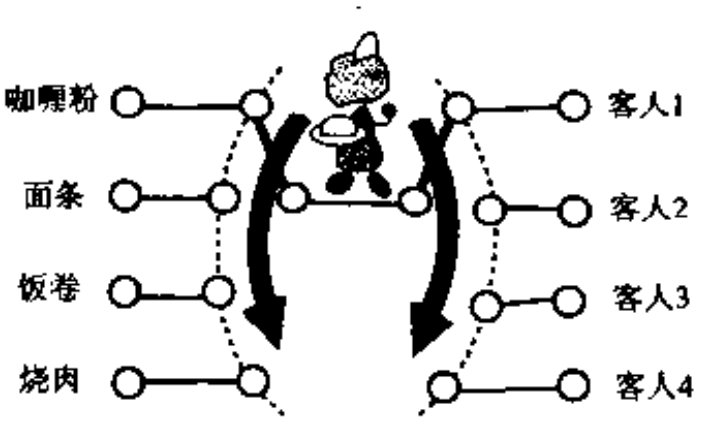


(反多路复用器的示意图)

小明　对于多路复用器和反多路复用器的工作情况，看一下饭店上菜实例。

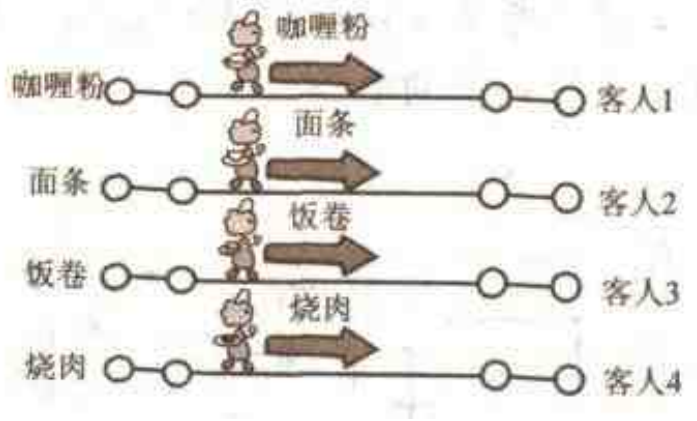


小丽　只有一位女服务员，不能将做好的多种饭菜同时送到客人手中，因此，要按一定的顺序送到。



博士 正如例中那样，一位女服务员（信号线）按照一定顺序将做好的饭菜（输入数据）送到客人手中（输出端），这种的方法称为时分方式。

小明 若要将做好的多种饭菜（数据）同时送到各客人手中（输出端），则需要配备的女服务员（信号线）数目与要上菜（数据）的数目相等。



多路复用器

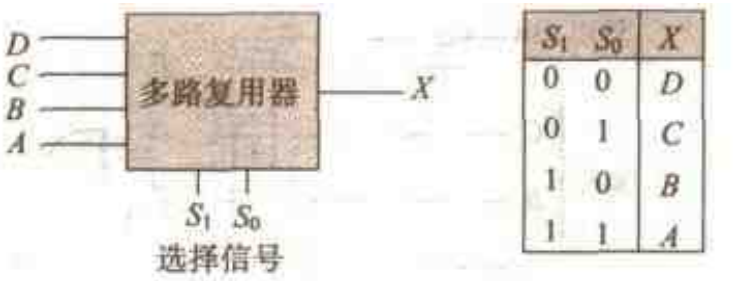
博士 现在学习实际的多路复用器电路。试考察从 4 位输入中选择任意 1 位的电路。



小丽 若用旋转开关，转动旋钮就能简单地选择数据。

博士 很笨重！这里不用旋转开关，用数字集成电路构成多路复用器。

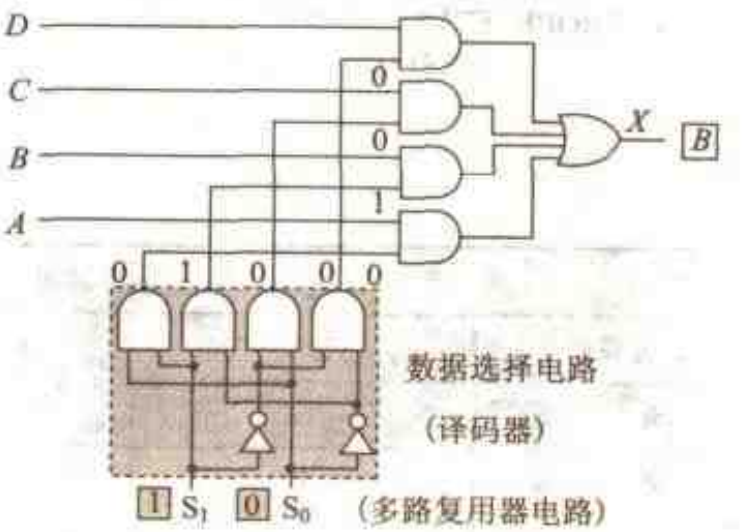
在数字电路中，用选择信号替代旋转开关中旋钮选择输入数据。



S_1	S_0	X
0	0	D
0	1	C
1	0	B
1	1	A

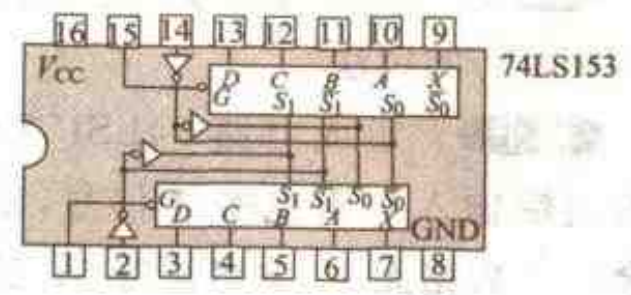
小明 改变选择信号可在输出端得到任意的输入数据吧。

博士 是这样。这种多路复用器电路如下所示。



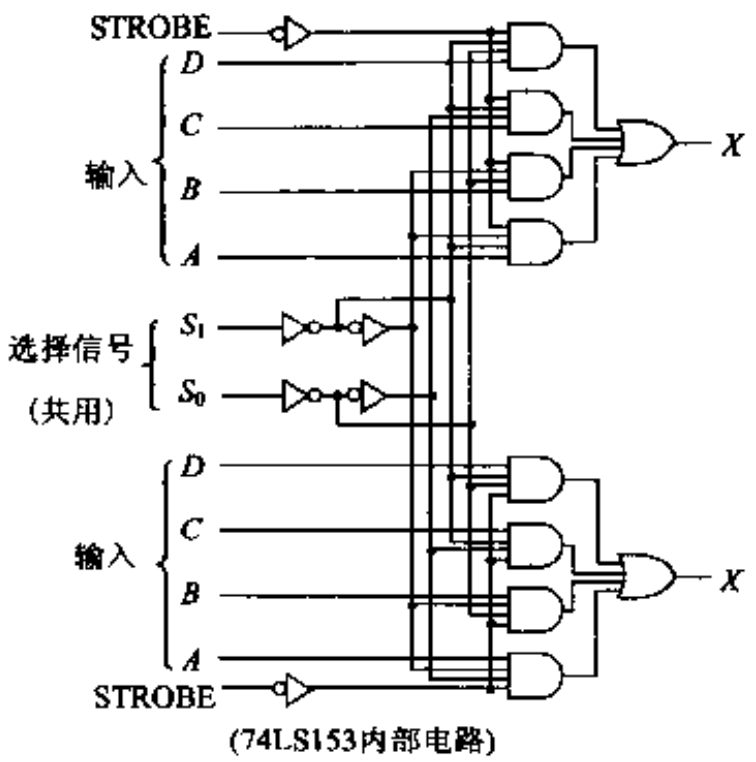
小丽 数据选择电路中使用已经学习过的译码器电路。

博士 考察一下实际的多路复用器集成电路 74LS153。



集成电路 74LS153 中具有两个从 4 位输入数据中选择 1 位数据功能的选择器，因此，称之为双路数据选择器。

选择信号与选择输入端之间关系如下表。



(74LS153内部电路)

输入			输出
选择信号		选通	X
S_1	S_0	G	
✓	✓	1	0
0	0	0	D
0	1	0	C
1	0	0	B
1	1	0	A

✓:0,1 均可

小明　请说说选通端(STROBE)的用法。

博士　集成电路 74LS153 中，若选通端输入逻辑电平 1 信号，则与其余端子数据无关，输出端置 0。请用上述电路图验证一下。

小明　也就是说，失去多路复用器的功能。

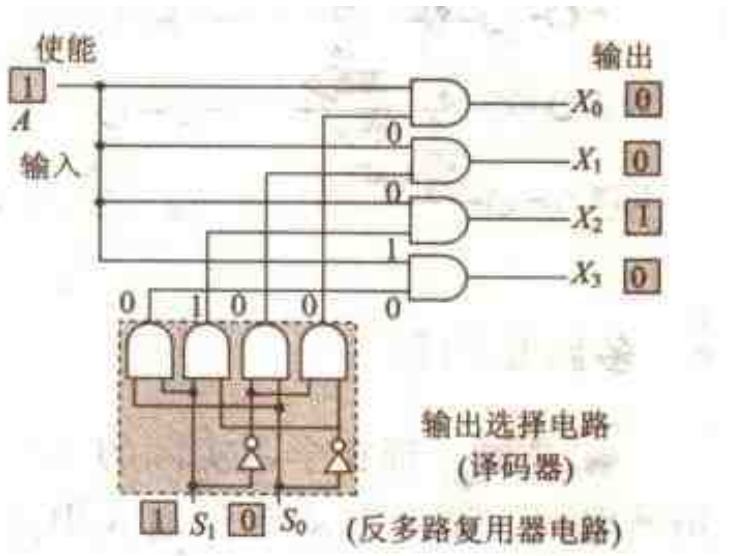
博士　是这样。作为多路复用器使用时，要在选通端输入逻辑电平 0 信号。选通端也称为使能端。

反多路复用器

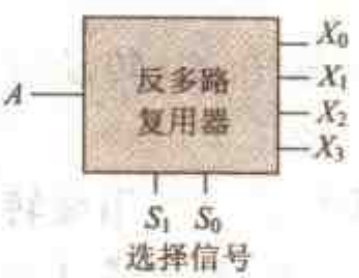
博士　现在学习反多路复用器电路。



试考察从 4 位数据中任意输出端获取 1 位数据的电路。

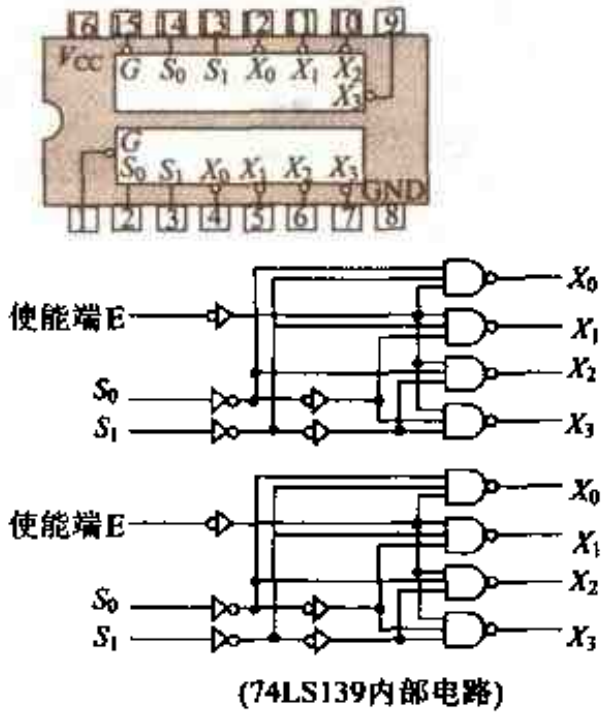


使能端子置逻辑电平 1。因而，根据选择信号的不同，选择输出逻辑电平 1 的输出端。选择信号与选择输出端之间关系如表所示：



S_1	S_0	X_0	X_1	X_2	X_3
0	0	1	0	0	0
0	1	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	1

现考察一下实际反多路复用器集成电路 74LS139。



74LS139 电路采用负逻辑，因此，使能端置逻辑电平 0，真值表如下。

输入			输出			
选择信号		使能				
S_1	S_0	G	X_0	X_1	X_2	X_3
✓	✓	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	1	1
0	1	0	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	0

✓：0，1 均可

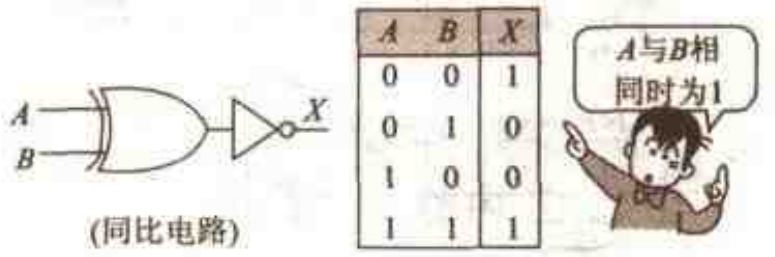
比较器电路

博士 比较器是比较二个数据大小的电路。

(1) 同比电路

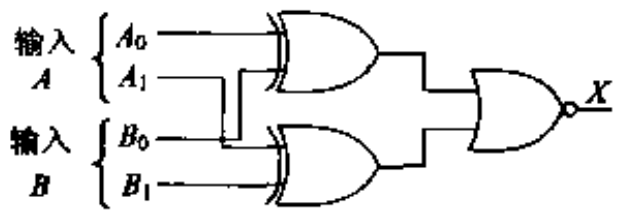
博士 比较二个数据是否相等。

小明 同比电路可利用异或门电路。



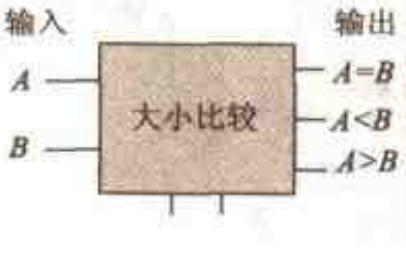
A	B	X
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

博士 下面示出 2 位数据的同比电路，请验证工作情况。

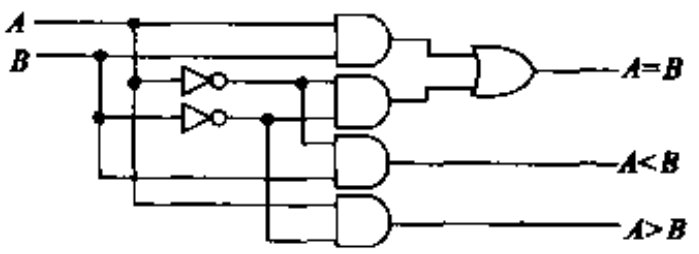


(2) 大小比较电路

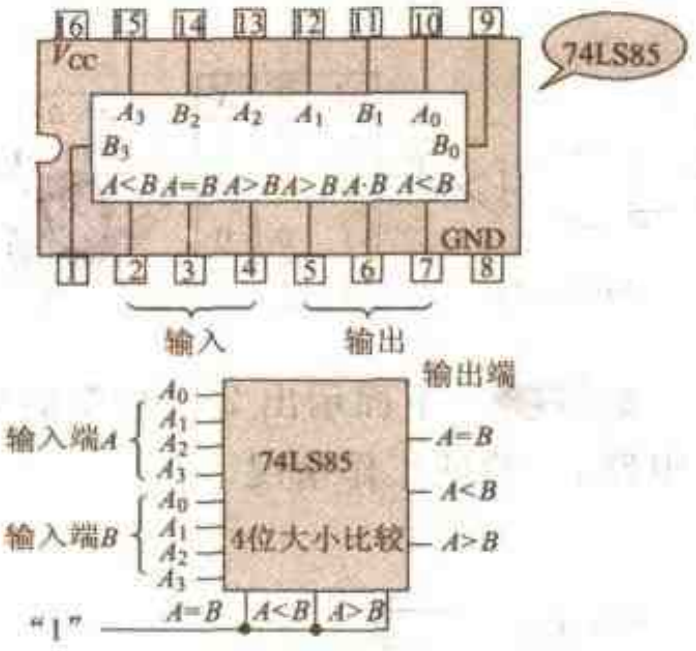
博士 这是比较二个数据大小的电路，例如，1 位数据大小比较电路的真值表如下所示。



A	B	A=B	A<B	A>B
0	0	1	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	0	1
1	1	0	0	0

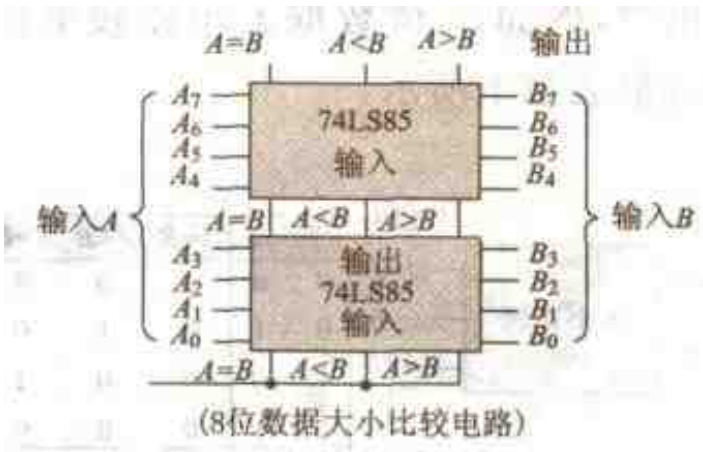


现介绍用于 4 位数据大小比较的集成电路 74LS85。



小丽　多于 4 位数据的比较采用何种集成电路呢?

博士　例如,8 位数据比较集成电路有 74LS82 等。



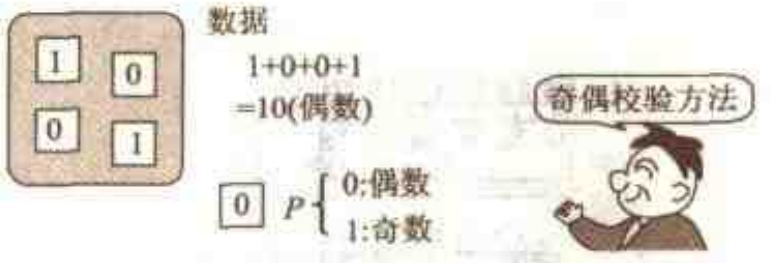
(8位数据大小比较电路)

另外,也可以采用多个 74LS85 连接构成多于 4 位数据比较电路。

奇偶校验电路

博士　研究数据传输中有无错误的方法有奇偶校验法。

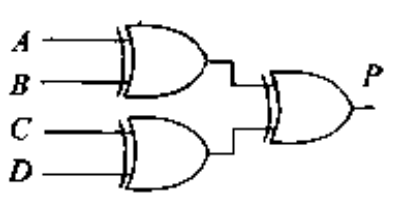
例如,有 4 位数据传输到某地。这时,计算数据的和,根据计算结果是奇数还是偶数确定为 0 还是 1 作为校验数据,它与原数据一起进行传输。



在数据接收方,仍然要计算数据和,计算结果是偶数还是奇数与发送的校验数据进行比较。

小明　为了进行奇偶校验还需要另外 1 根信号线吧。

博士　当然。4 位奇偶校验数据生成电路如下。



A+B+C+D	P
偶数	0
奇数	1

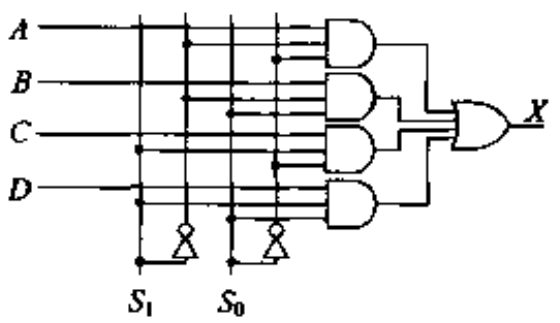
(奇偶校验数据生成电路)

练习题

问题 1　下述电路为何种工作状态。

解答

该电路是 4 输入 1 输出的多路复用器。



S_1	S_0	X
0	0	A
0	1	B
1	0	C
1	1	D

6 实 践

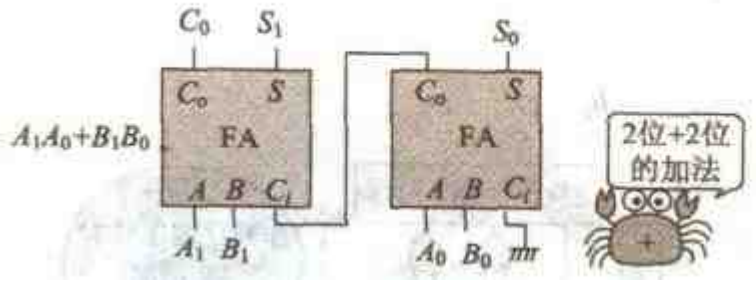
用实验验证运算电路的工作状态



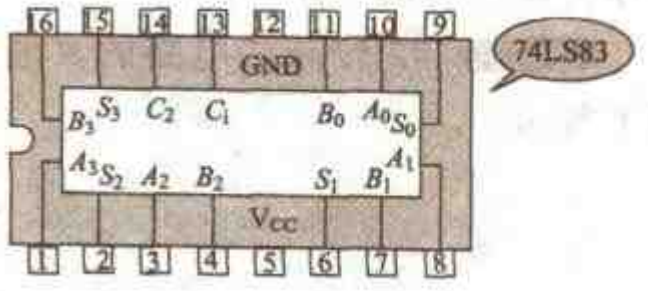
加法电路

博士 制作全加器电路，并用实验验证其工作状态。

小明 全加器电路框图如下所示。



小丽 74LS83 是 4 位全加器集成电路。



博士 这里，制作二个 2 位数据的加法电路。

博士 2 位加法电路的真值表如下。

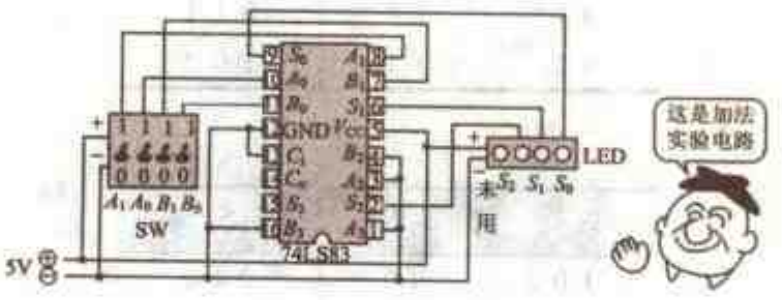
A_1A_0	B_1B_0	$S_2S_1S_0$
0 0	0 0	0 0 0
0 0	0 1	0 0 1
0 0	1 0	0 1 0
0 0	1 1	0 1 1
0 1	0 0	0 0 1
0 1	0 1	0 1 0
0 1	1 0	0 1 1
0 1	1 1	1 0 0

A_1A_0	B_1B_0	$S_2S_1S_0$
1 0	0 0	0 1 0
1 0	0 1	0 1 1
1 0	1 0	1 0 0
1 0	1 1	1 0 1
1 1	0 0	0 1 1
1 1	0 1	1 0 0
1 1	1 0	1 0 1
1 1	1 1	1 1 0

博士　这里，利用第 1 章制作好的 4 位信号输入用开关电路与输出显示 LED 电路。电路制作好以后，通过实验，将其结果添入真值表的空格中。

A_1A_0	B_1B_0	$S_2S_1S_0$
0 0	0 0	
0 0	0 1	
0 0	1 0	
0 0	1 1	
0 1	0 0	
0 1	0 1	
0 1	1 0	
0 1	1 1	

A_1A_0	B_1B_0	$S_2S_1S_0$
1 0	0 0	
1 0	0 1	
1 0	1 0	
1 0	1 1	
1 1	0 0	
1 1	0 1	
1 1	1 0	
1 1	1 1	

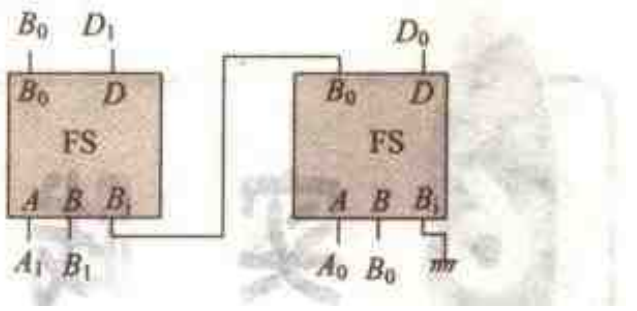


请验证一下是否与前面小明列的真值表一致。

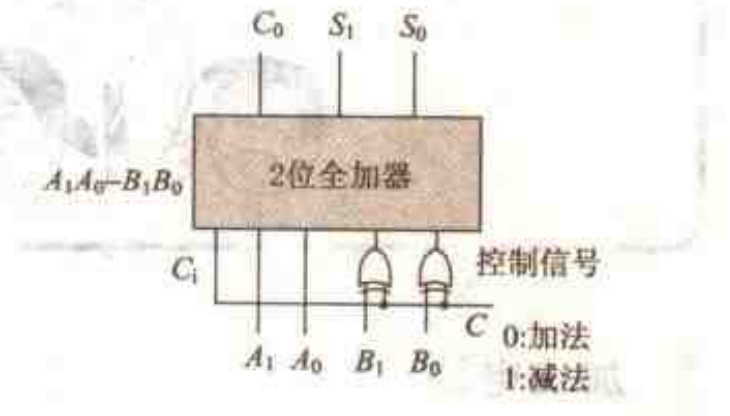
减法电路

博士　现进行减法器的实验。

小丽　减法器框图如下所示。

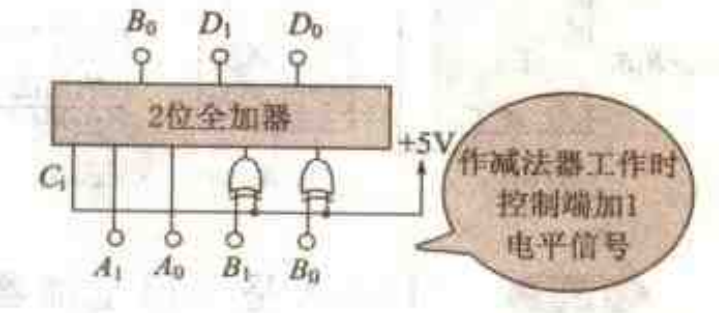


小明　若用 2 的补码方法，可将加法器作为减法器使用。



博士　试用 74LS83 制作 2 位减法器的电路，异或门用 74LS86。

为慎重起见，试在控制端加 0 电平信号，看一下作为加法器的工作情况。



再在控制端加 1 电平信号，看一下作为减法器的工作情况。

小丽　2 位减法电路的真值表如下所示。

A_1	A_0	B_1	B_0	B_0	D_1	D_0
0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	1	0	1	1
0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0	1
0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1
0	1	1	1	0	1	0

A_1	A_0	B_1	B_0	B_0	VD_1	D_0
1	0	0	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1
1	0	1	0	1	0	0
1	0	1	1	0	1	1
1	1	0	0	1	1	1
1	1	0	1	1	1	0
1	1	1	0	1	0	1
1	1	1	1	1	0	0

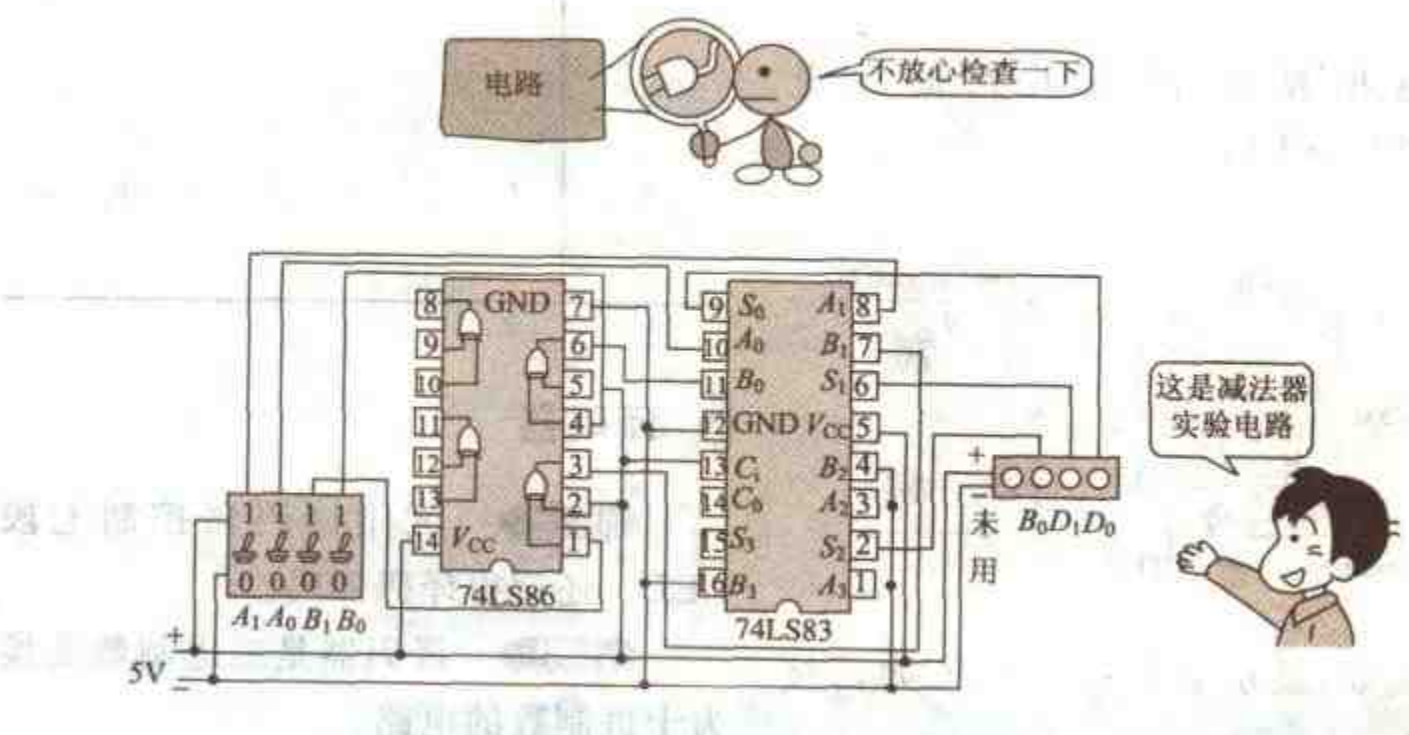
博士 请根据实验将结果填入下列真值表的空格中。

这与小丽列的真值表一致吗？

A_1	A_0	B_1	B_0	B_0	D_1	D_0
0	0	0	0			
0	0	0	1			
0	0	1	0			
0	0	1	1			
0	1	0	0			
0	1	0	1			
0	1	1	0			
0	1	1	1			

A_1	A_0	B_1	B_0	B_0	D_1	D_0
1	0	0	0			
1	0	0	1			
1	0	1	0			
1	0	1	1			
1	1	0	0			
1	1	0	1			
1	1	1	0			
1	1	1	1			

若不是正确的逻辑工作状态时，则检查一下电路的接线及电源的极性是否正确。若接线没有问题，但不能正常工作时，请检查一下焊接情况。对于初学者制作的电路，很多情况下是焊接不良使电路误动作。



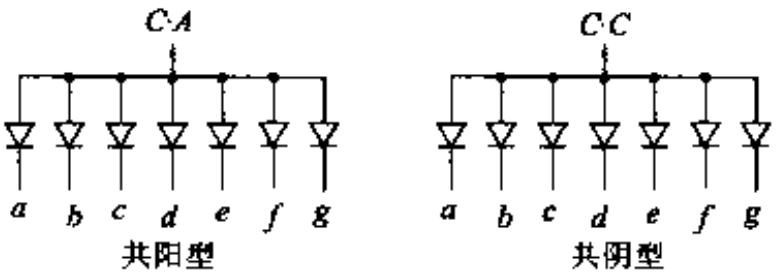
七段 LED

博士　知道七段 LED 器件吗？

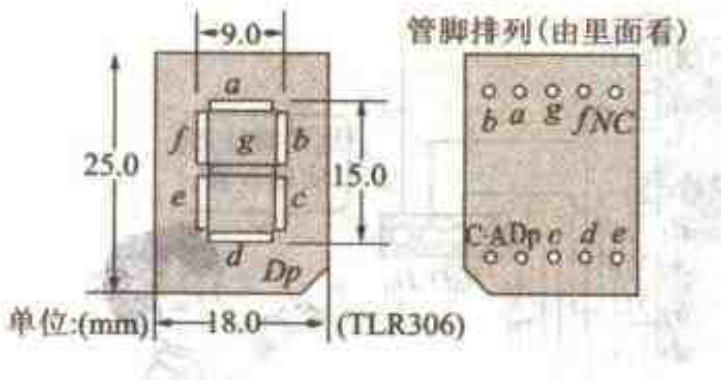


小丽　知道，它是由七个 LED 排列成数字 8，将其组合成能显示数字 0 到 9 的器件。

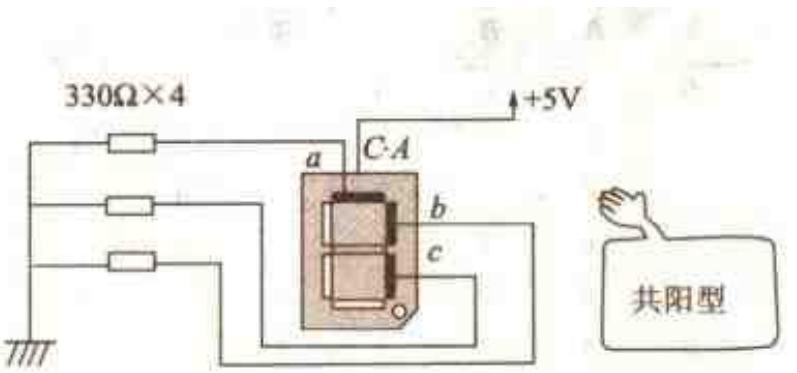
博士　是这样。按管脚接线不同分有共阴和共阳两种类型。



这里使用容易买到的东芝 TLR306 等 LED。



例如，显示数字 7 时应该如何接线呢？



小明　显示数字 7 时，abc 三段发光即可。另外，对于共阳 LED 在公共端要接入＋5V 电源。

小丽　为何在各字段接入电阻呢？

小丽　这些电阻用于限制各字段中电流，各字段电阻值约 300Ω，限制其电流约为 8mA。

那么，为要显示数字 0 到 9，选择哪些字段发光即可呢？

请完成下表。

显示	字段						
	a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*
0							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7	1	1	1	0	0	0	0
8							
9							

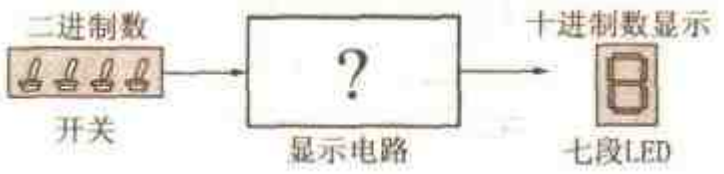
译码器

博士　试用译码器控制七段 LED。还记得译码器吗？

小明　译码器是二进制数变换为十进制数的电路。



博士 是这样。试考察用LED显示对应输入二进制数的十进制数的电路。



请设计实现下列真值表的译码器电路。

A B C D	a b c d e f g	显示
0 0 0 0	1 1 1 1 1 1 0	0
0 0 0 1	0 1 1 0 0 0 0	1
0 0 1 0	1 1 0 1 1 0 1	2
0 0 1 1	1 1 1 1 0 0 1	3
0 1 0 0	0 1 1 0 0 1 1	4
0 1 0 1	1 0 1 1 0 1 1	5
0 1 1 0	0 0 1 1 1 1 1	6
0 1 1 1	1 1 1 0 0 0 0	7
1 0 0 0	1 1 1 1 1 1 1	8
1 0 0 0	1 1 1 0 0 1 1	9

(加法标准式)

$\bar{a}=\bar{A}\bar{B}\bar{C}D+A\bar{B}CD+\bar{A}BC\bar{D}$

$\bar{b}=\bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}+\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$

$\bar{c}=\bar{A}\bar{B}C\bar{D}$

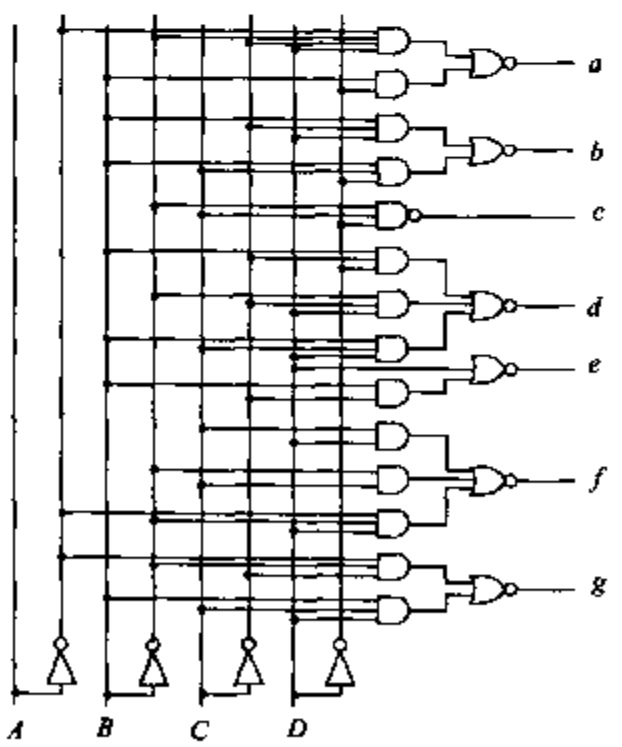
$\bar{d}=\bar{A}\bar{B}\bar{C}D+\bar{A}\bar{B}C\bar{D}+\bar{A}BCD+A\bar{B}\bar{C}\bar{D}$

$\bar{e}=\bar{A}\bar{B}\bar{C}D+\bar{A}\bar{B}C\bar{D}+\bar{A}B\bar{C}\bar{D}+\bar{A}B\bar{C}D$
$+\bar{A}BCD+AB\bar{C}\bar{D}$

$\bar{f}=\bar{A}\bar{B}\bar{C}D+\bar{A}\bar{B}C\bar{D}+\bar{A}BC\bar{D}+\bar{A}BCD$

$\bar{g}=\bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{D}+\bar{A}\bar{B}C\bar{D}+\bar{A}BCD$

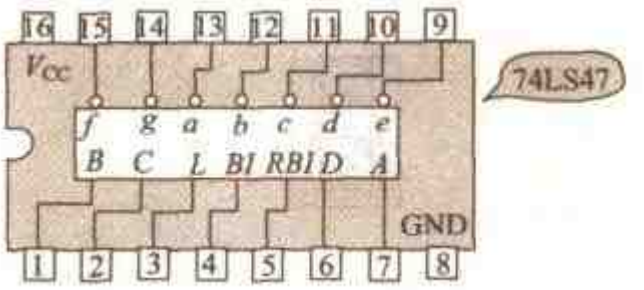
小丽 使用学习过的译码器设计方法，设计的电路如下。

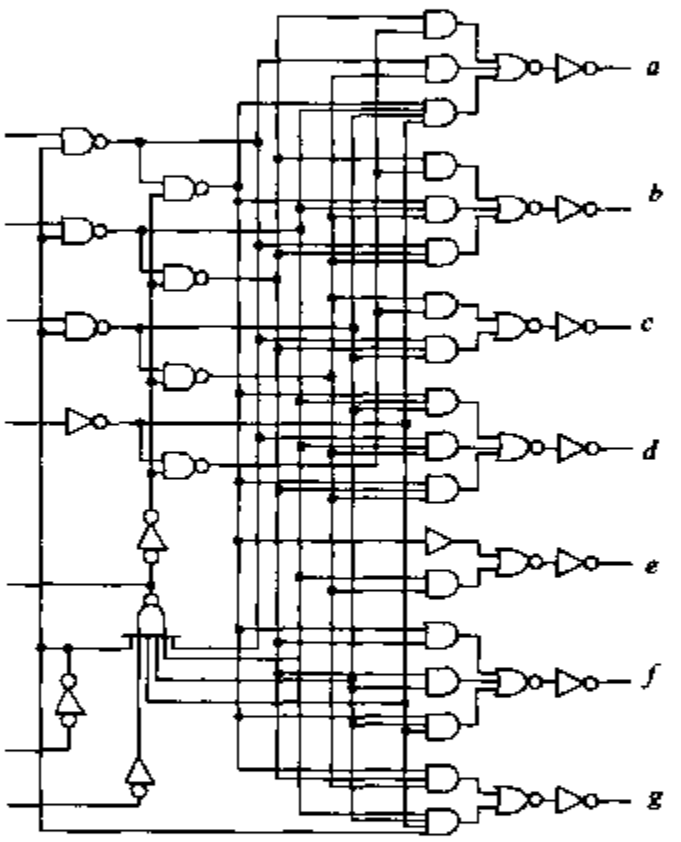


(七段LED显示译码器电路)

博士 实际制作稍微复杂的电路吧。

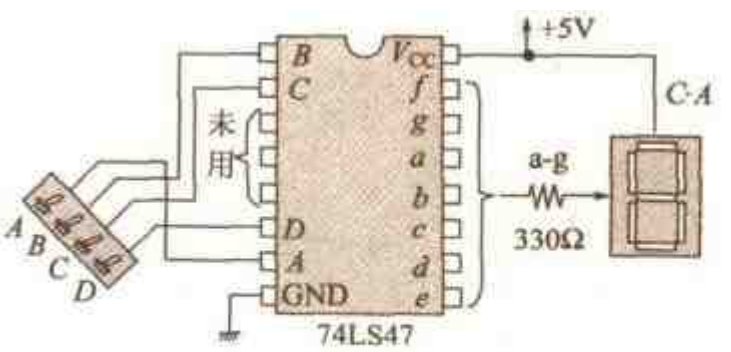
与上面设计的译码器工作状态相同的集成电路有74LS47。





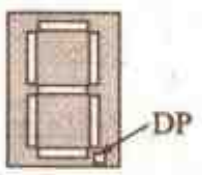
(74LS47内部电路)

小丽 若使用74LS47就能简单地驱动七段LED。



(七段LED显示电路)

博士　那么，试使用信号输入开关电路，制作上述的显示电路。七段 LED 中还设有表示小数点的 DP 部分。

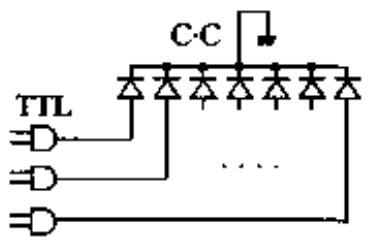


练习题

问题 1　共阴极七段 LED 如下那样接法行吗？

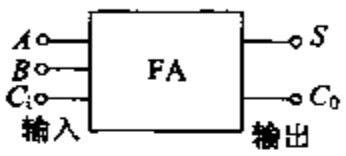
解答

TTL 的吐出电流只有 4mA，因此，这种接法不能驱动 LED。



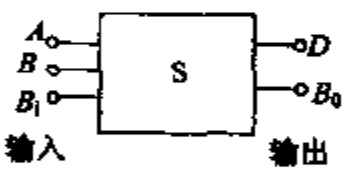
Q 挑战题

1. 试完成下列全加器的真值表。(参见 p. 85)



A	B	C_1	S	C_0
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

2. 试说明串行加法方式的优缺点。(参见 p. 87)
3. 试说明并行加法方式的优缺点。(参见 p. 87)
4. 试用半加器构成全加器。(参见 p. 88)
5. 试说明半减器和全减器有何不同。(参见 p. 90)
6. 试完成下列全减器的真值表。(参见 p. 92)



A	B	B_1	D	B_0
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

7. 试说明 1 的补码和 2 的补码。(参见 p. 89)
8. 试说明减法用加法的计算方法。(参见 p. 89)
9. 试说明乘法的方式(组合电路方式)。(参见 p. 94)
10. 试说明除法的方式(恢复法)。(参见 p. 95)
11. 试说明用移位进行乘除的方法。(参见 p. 96)
12. 何谓 ALU。(参见 p. 92)
13. 试归纳编码器电路的设计方法。(参见 p. 100)
14. 试归纳译码器电路的设计方法。(参见 p. 102)
15. 何谓 BCD 码。(参见 p. 103)
16. 试设计多路复用器电路,能从 4 位数据中选择任意 1 位数据。(参见 p. 105)
17. 试考察两个 1 位数据大小的比较电路。(参见 p. 107)
18. 试说明反多路复用器的工作原理。(参见 p. 106)
19. 试说明奇偶校验方式。(参见 p. 108)
20. 七段 LED 是何种器件。(参见 p. 112)

第4章

脉冲电路



博士



小明



小丽

本章学习目的

数字电路是处理0与1信号的电路,例如,非门电路的输入逻辑电平0时,则输出逻辑电平1。那么,非门电路的输入信号随时间发生变化时,输出将如何呢?当然,得到对应于输入信号逻辑否定的输出。此实例中,随时间变化的信号称为脉冲信号,在数字电路中,经常用脉冲信号使电路工作。后述几章学习的触发器、移位寄存器、计数器等的工作原理也可加深对脉冲信号的理解。

本章学习脉冲信号产生的方法。产生脉冲信号的电路称为振荡器。其中,数字电路中经常使用产生方波的电路有多谐振荡器。先学习晶体管多谐振荡器,然后学习对脉冲信号进行整形的方法。

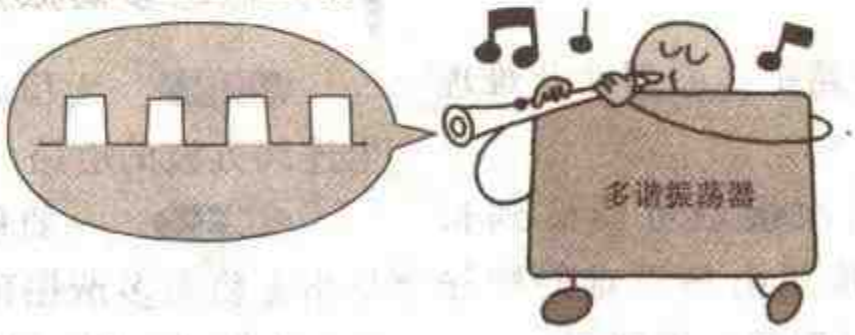
后半章学习施密特触发电路,它常用作脉冲整形电路,还用于防止噪声引起数字电路的误动作。

本章要加深对脉冲信号的理解。



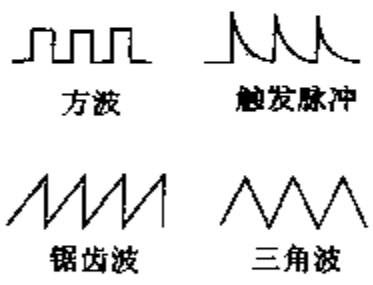
1 多谐振荡器(1)

学习方波产生电路



多谐振荡器

博士　脉冲信号有各种形式，但数字电路常用方波。

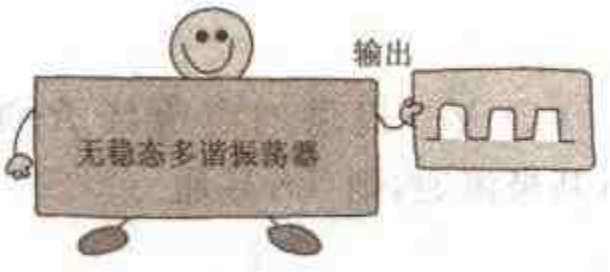




产生方波的电路是多谐振荡器，多谐振荡器有以下三种。

(1) 无稳态多谐振荡器

这是连续产生方波的电路。



(2) 单稳态多谐振荡器

这是不能连续产生方波，当输入触发信号时才产生1个脉冲的电路。

输入施加的脉冲称为触发脉冲，只有对输出方波进行计数才需要触发脉冲。



(3) 双稳态多谐振荡器

这是输入施加触发脉冲时，输出由0变为1，或由1变为0的电路，也称为触发器。有关触发器的内容将在第5章中学习。



现分析用晶体管构成的各种多谐振荡器的工作原理。



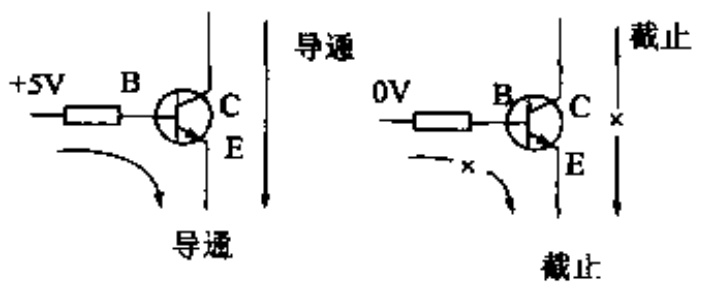
小朋　电路工作原理如此难理解，很麻烦。

博士　初次接触可能感到很难，但我认为若按照由易到难的顺序学习，电路工作原理就不难理解。

小丽　请简单地说说。

博士　明白了。从晶体管开关的作用说起。

小丽　晶体管开关电路在第 2 章实践一节中已经学习过。对于 NPN 晶体管，若基极加正向电压，则基极-发射极间有电流流通，由此集电极-发射极间也会有电流流通，相当于开关接通。然而，基极不加正电压时，集电极-发射极间为截止状态，相当于开关断开。



博士　是这样。多谐振荡器中二个晶体管用作开关，一个晶体管导通时，另一个晶体管截止。两个晶体管不能同时处于相同工作状态。



无稳态多谐振荡器

小丽　无稳态多谐振荡器是产生连续方波的电路。

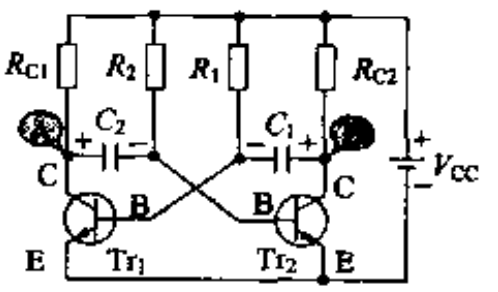
博士　一般称为多谐振荡器多是指无稳态多谐振荡器。现分析无稳态多谐振荡器的工作原理。

无稳态多谐振荡器工作原理

若加 V_{CC} 电压，电路中晶体管都可能导通，这里假定 Tr_1 先导通。

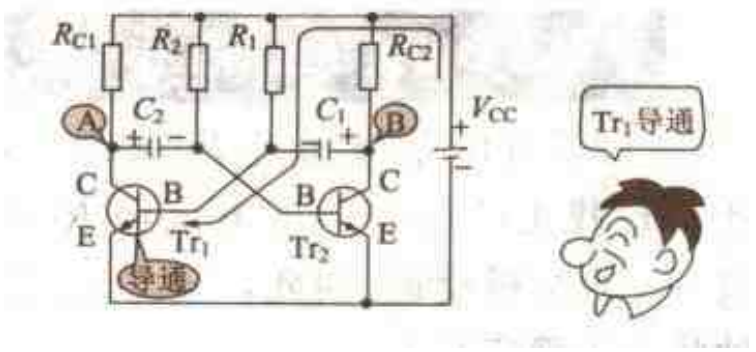
小朋　到底哪个晶体管先导通由何种因素决定呢?

博士　即使是同型号晶体管，实际上性能也不会完全一样，有些差别，这样，灵敏度高的晶体管优先导通。

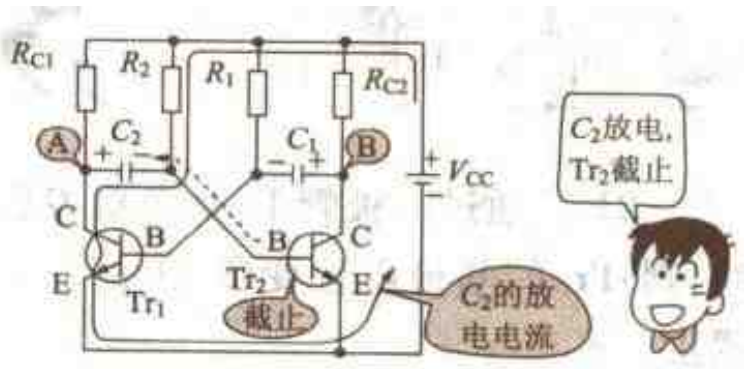


(无稳态多谐振荡器电路)

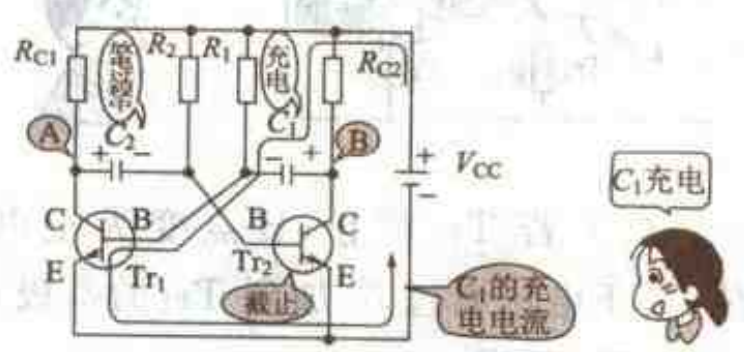
(1) V_{CC} 提供的电流经 R_1 通过 Tr_1 基极流通，则 Tr_1 导通。



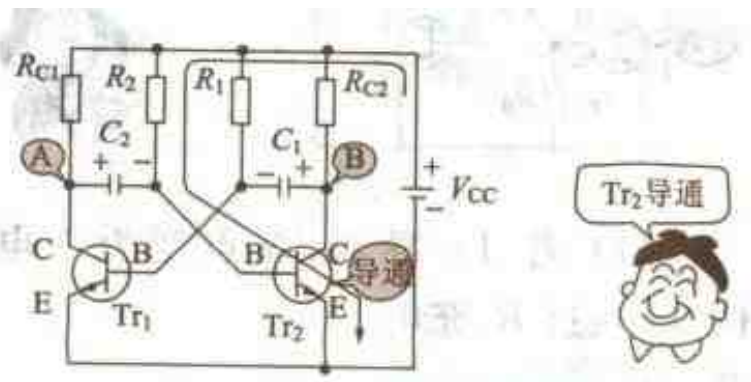
(2) 由于 Tr_1 导通，A 点等于地电位，C_2 中电荷通过 R_2 放电。由于 Tr_2 的基极接到 C_2 的负端，则 Tr_2 截止。



(3) 由于 Tr_2 导通，B 点为正电位，C_1 为充电状态。

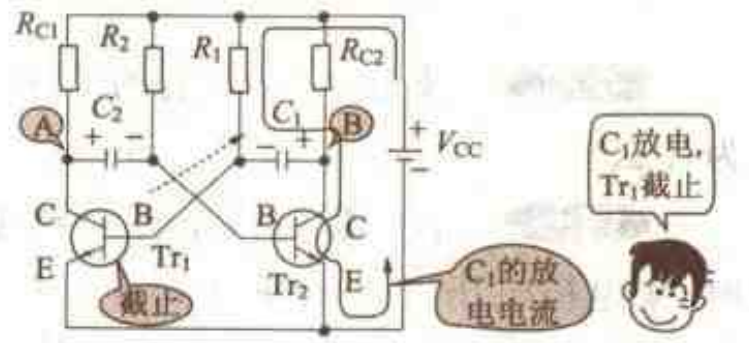


(4) 若 C_2 放电结束，V_{CC} 提供的电流经 R_2 通过 Tr_2 的基极流通，则 Tr_2 导通。

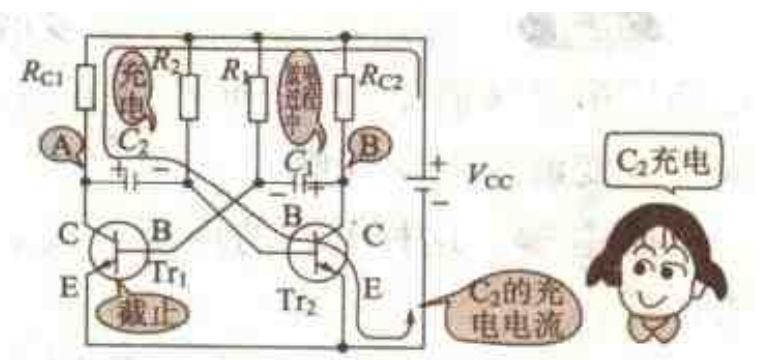


(5) 若 Tr_2 导通，B 点变为地电位，C_1 的电荷通过 R_1 开始放电。

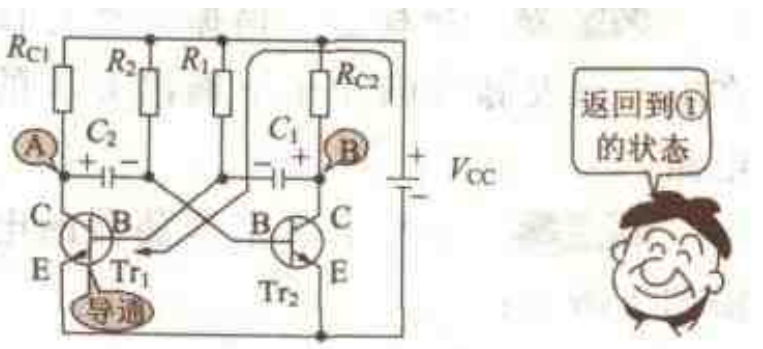
由于 Tr_1 的基极接到 C_1 负端，则 Tr_1 截止。



(6) 由于 Tr_1 截止，A 点变为正电位，因此，C_2 为充电状态。

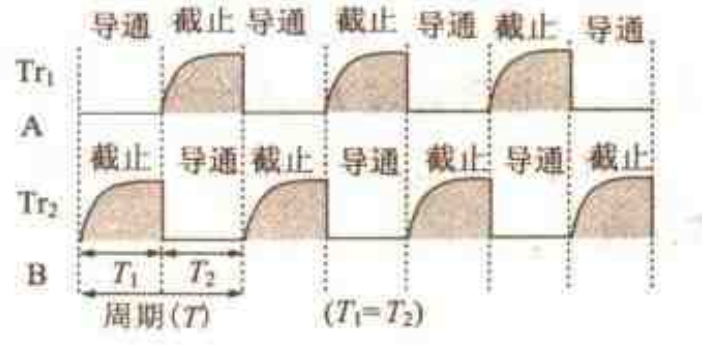


(7) 若 C_1 放电结束，V_{CC} 提供的电流经 R_1 通过 Tr_1 基极流通，则 Tr_1 导通。



(8) 这时，返回到 Tr_1 导通的最初状态，以后自动从②到⑦周而复始工作。

博士　A 点与 B 点波形如下。Tr_1 导通时 A 点的电位为 0，截止时 A 点电位等于 V_{CC}，注意这一点。



小丽　波形不是完全的方波，为什么？

博士　晶体管由截止转为导通时，集电极电压可以快速变到 0 电位，但导通转为截止时，由于 C_1 和 C_2 的充电电流经 R_{C1} 和 R_{C2} 流通，波形上升稍有些迟缓。

小明　由此可知，无稳态多谐振荡器中晶体管通/断转换产生方波。如何改变波形的周期呢？

博士　这种电路的周期可按下式计算：

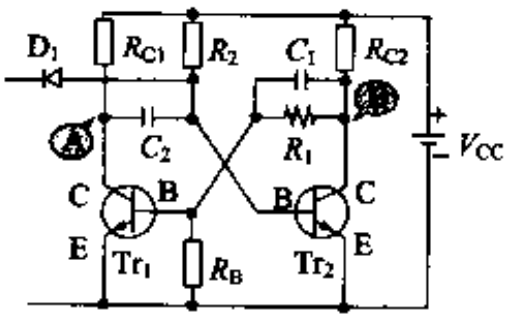
$$T=0.7\times(C_1\times R_1+C_2\times R_2)(\mathrm{s})$$

而频率 $f=1/T$ (Hz)

单稳态多谐振荡器

小丽　单稳态多谐振荡器是仅在输入触发脉冲的作用下输出方波的电路。

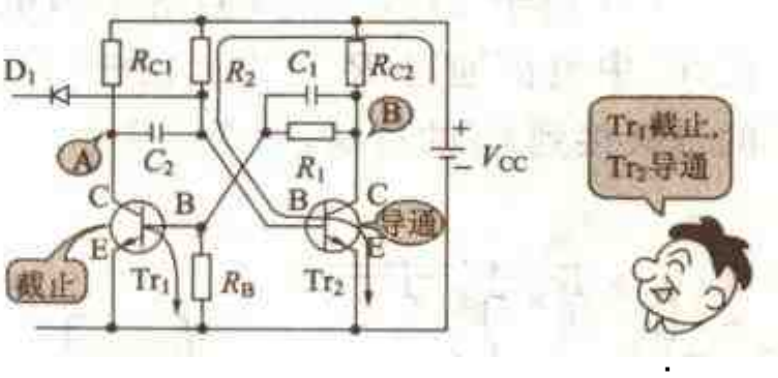
博士　单稳态多谐振荡器的电路如下所示：



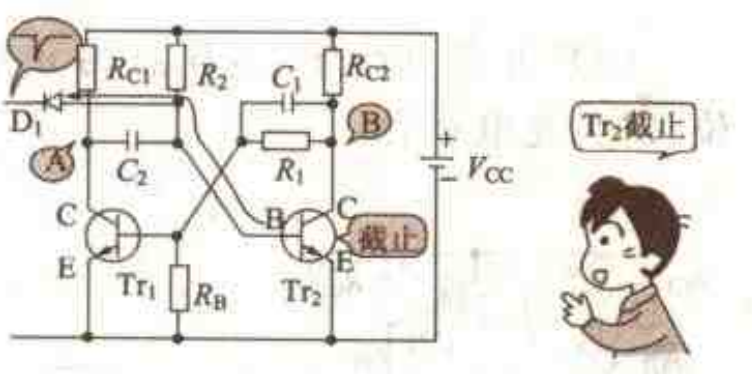
(单稳态多谐振荡器电路)

单稳态多谐振荡器的工作原理

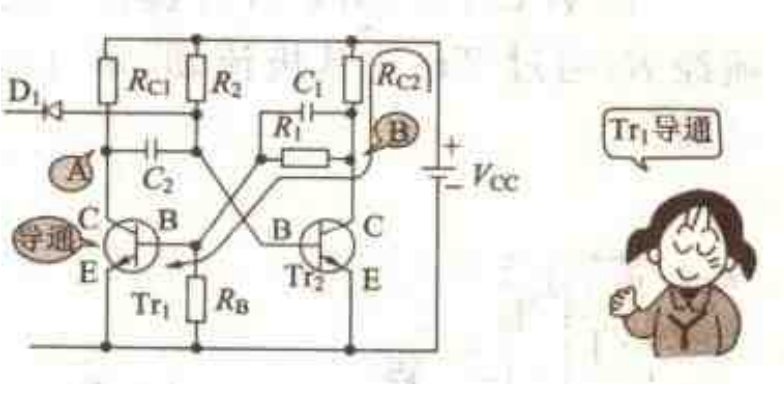
(1) Tr_1 的基极通过 R_B 接地，因此，Tr_1 截止，V_{CC} 提供的电流经 R_2 通过 Tr_2 的基极流通，因此，Tr_2 导通，这种状态为稳定状态。



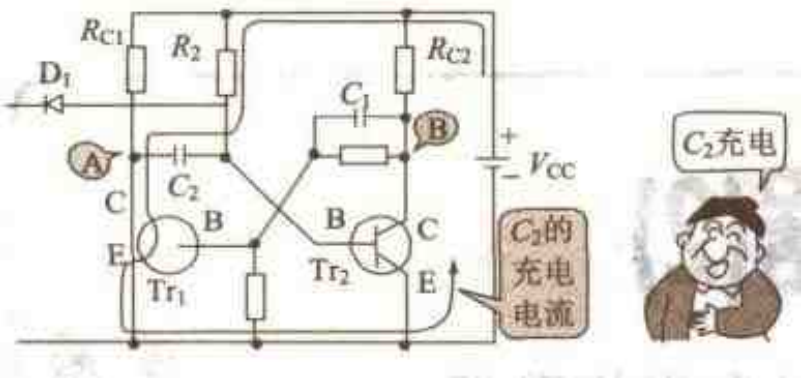
(2) 若通过二极管 D_1 加负触发脉冲，则 Tr_2 的基极电位变负，因此，Tr_2 截止。



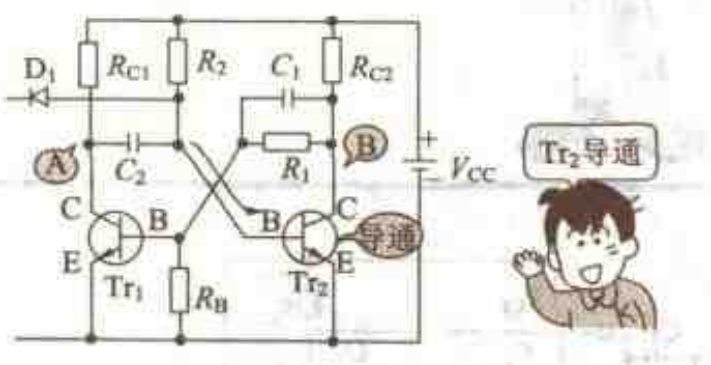
(3) 若 Tr_2 截止，B 点变为正电位，其正电位通过 R_1 加到 Tr_1 的基极，于是，Tr_1 导通。



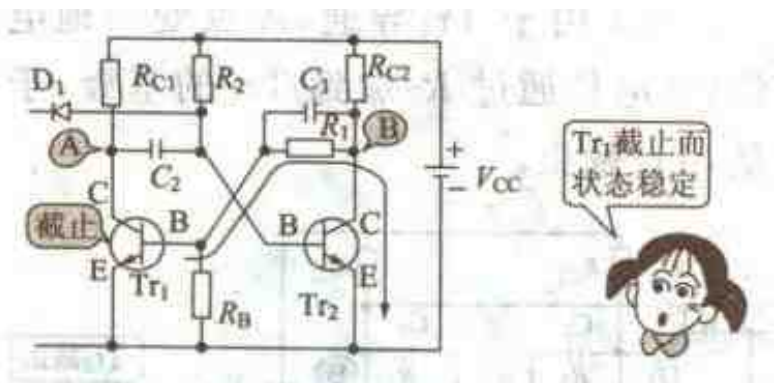
(4) 若 Tr_1 导通，A 点变为 0 电位，C_2 通过 R_2 充电。



(5) 随着 C_2 的充电时间增长，不久 Tr_2 的基极变为正电位，于是 Tr_2 导通。



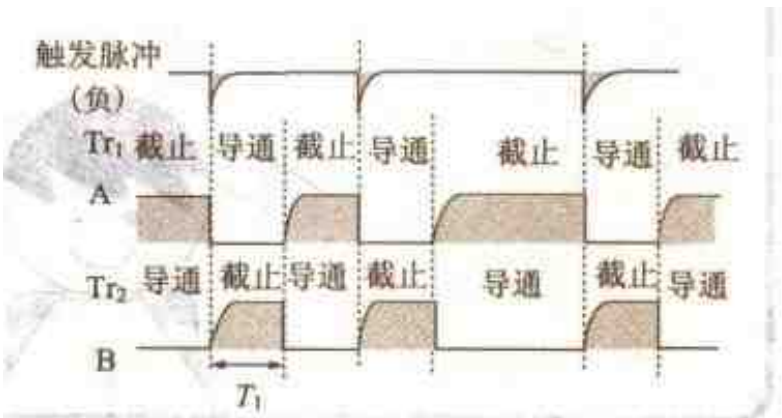
(6) 若 Tr_2 导通，B 点变为地电位，Tr_1 基极也为地电位，于是，Tr_1 截止。



小明　这时，返回初始的稳定状态。

也就是说，对于单稳态多谐振荡器，在一个输入触发脉冲的作用下，晶体管的导通截止状态瞬时改变，经过一定时间又返回到原来的状态，并且稳定在这种工作状态。

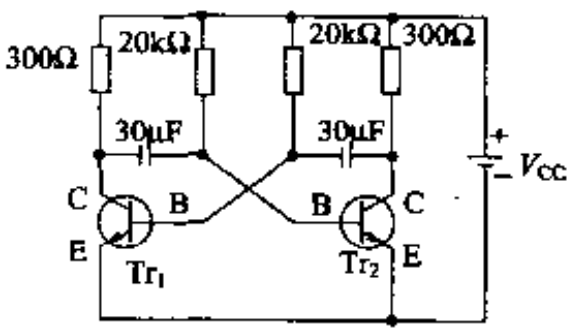
图老师　是这样考察单稳态多谐振荡器的工作波形，并确认电路的工作状态。



练习题

问题 1　下面的多谐振荡器是何种类型。

问题 2　试计算输出方波的周期与频率。



解答

1. 多谐振荡器是无稳态多谐振荡器。

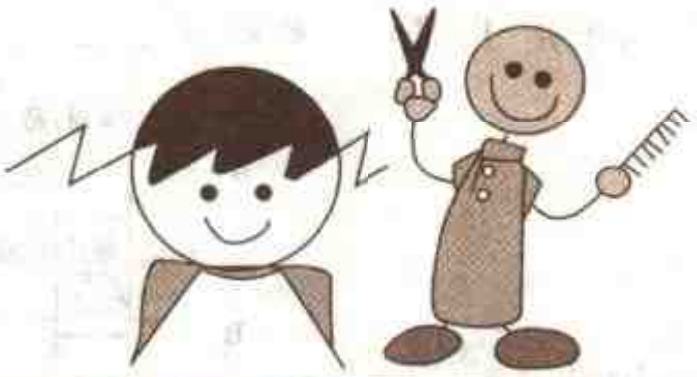
2. 周期 $T=0.7\times(2\times20)\times10^3\times30\times10^{-6})$

$=0.84(s)$

频率 $f=1/T\approx1.19(Hz)$

2 多谐振荡器(2)

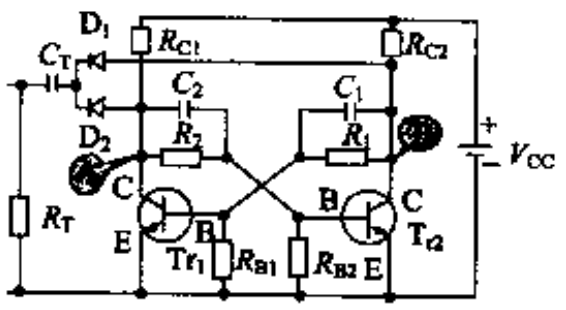
学习用集成电路构成的多谐振荡器



双稳态多谐振荡器

小雨　双稳态多谐振荡器有两个稳定状态，在外加触发脉冲的作用下，从一个稳定状态反转到另一个稳定状态。

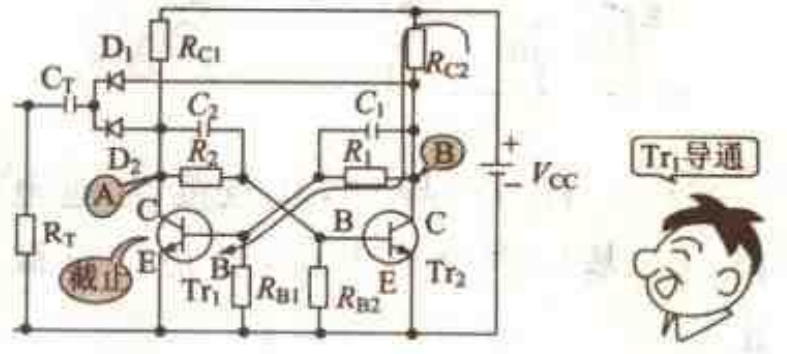
博士　考察一下晶体管双稳态多谐振荡器的工作原理。



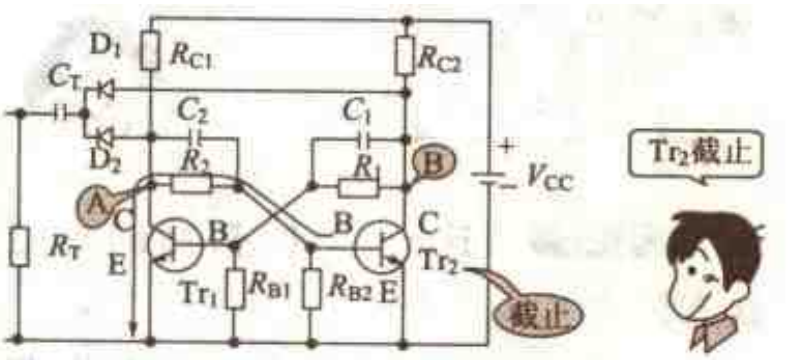
(双稳态多谐振荡器电路)

双稳态多谐振荡器的工作原理

(1) V_{cc} 电压通过 R_1 加到 Tr_1 的基极，则 Tr_1 导通。

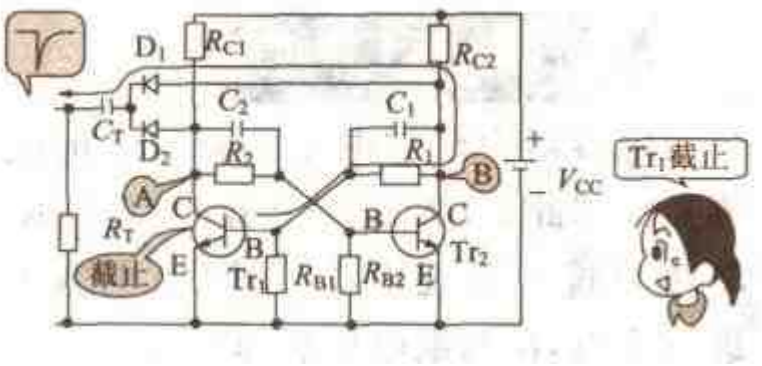


(2) 由于 Tr_1 导通，A 点变为地电位，该电位通过 R_2 加到 Tr_2 的基极，于是，Tr_2 截止。

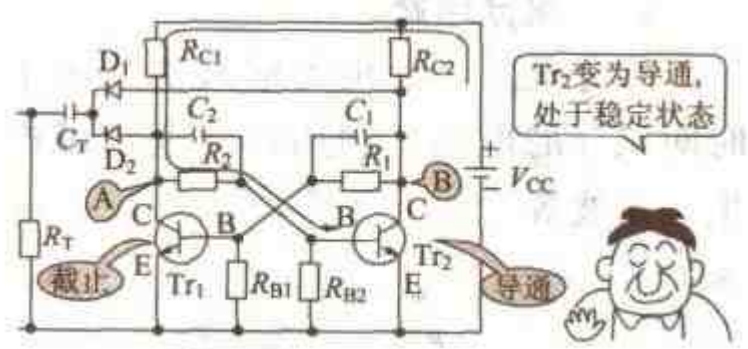


这是第 1 个稳定状态。

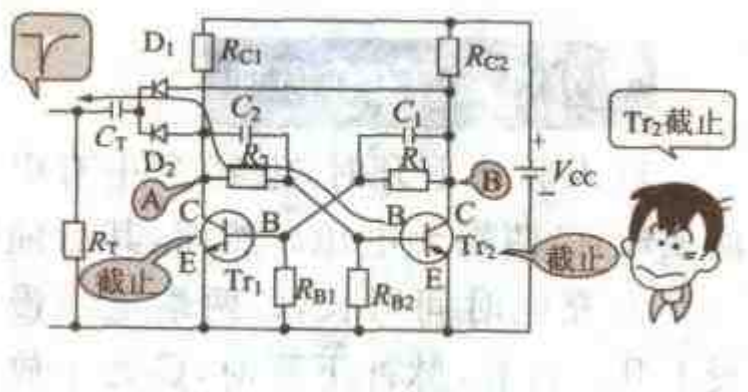
(3) 若通过二极管加负触发脉冲，则通过 D_1 和 R_1 的负电位加到 Tr_1 的基极，于是，Tr_1 截止。



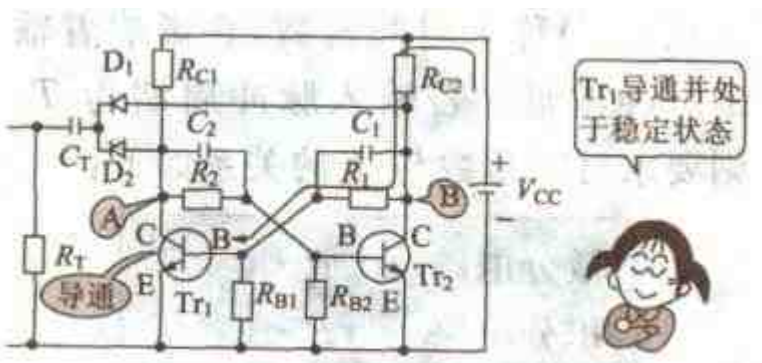
(4) 若 Tr1 截止，则 A 点变为正电位，该电位通过 R_2 加到 Tr2 的基极，于是，Tr2 导通。这是第 2 个稳定状态。



(5) 若再输入负触发脉冲，通过 D_2 和 R_2 的负电位加到 Tr2 的基极，于是，Tr2 截止。

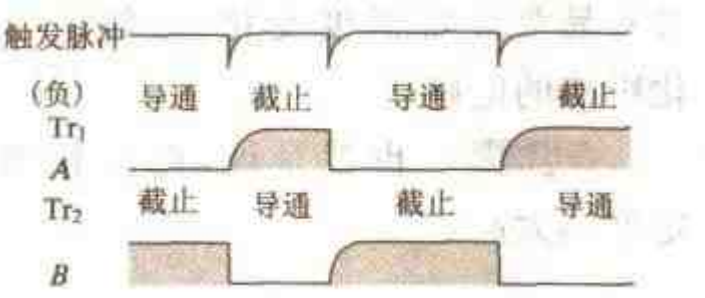


(6) 若 Tr2 截止，则 B 点变为正电位，通过 R_1 加到 Tr1 的基极，于是，Tr1 导通。



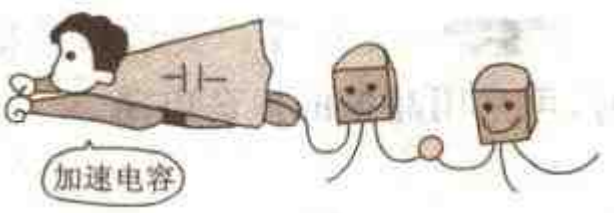
这时返回初始的稳定状态。

双稳态多谐振荡器的输出波形如下示。



小明 每输入一个触发脉冲，稳定状态改变一次。

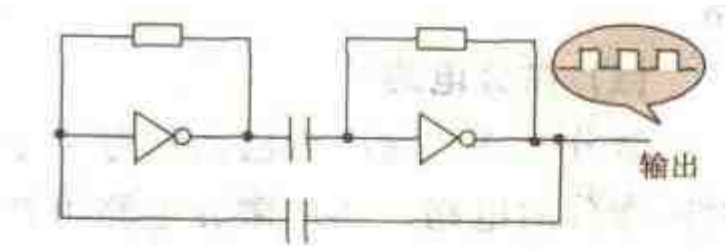
小丽 C_1 和 C_2 是加速晶体管导通截止的加速电容。



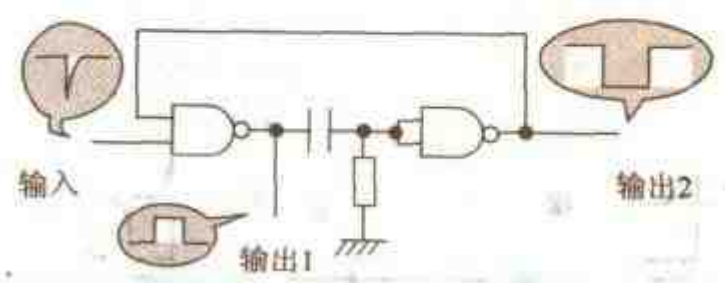
集成门电路构成的多谐振荡器

小丽 迄今为止学习了晶体管多谐振荡器，但多谐振荡器也可以用集成门电路构成。

双稳态多谐振荡器作为触发器电路将在第 5 章学习。



集成电路构成的无稳态多谐振荡器



集成电路构成的单稳态多谐振荡器

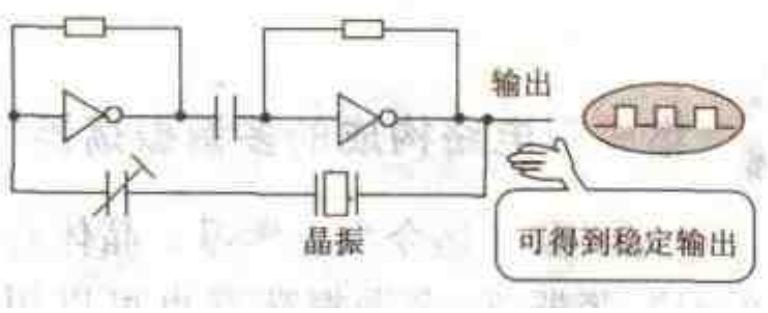
小明 用多谐振荡器电路可简单产生方波吧。

博士 然而，多谐振荡器是一种容易受环境温度变化、工作电压变化影响的电路。

小丽 也就是说，振荡频率稳定度不太高。



博士 是这样。要求较高稳定度时，可采用晶振的振荡电路。

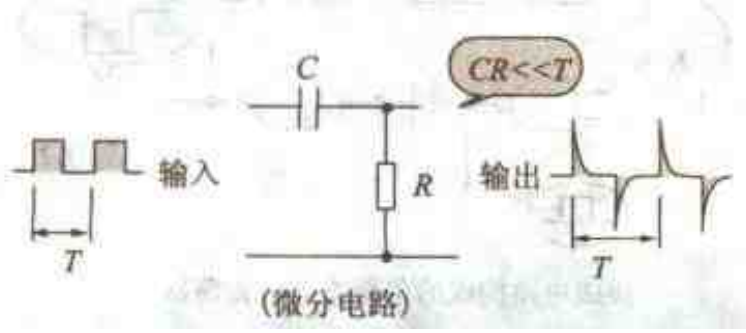


微分电路与积分电路

博士 现学习有关方波操作电路。

(1) 微分电路

微分电路是输出为输入信号关于时间微分的电路。利用微分电路可产生触发脉冲等。



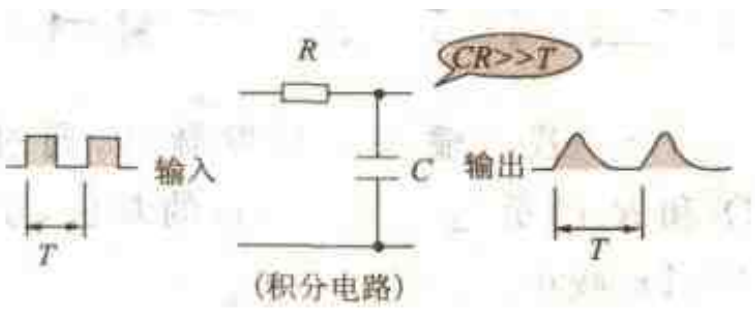
微分电路的工作原理

电容器中仅加电压的瞬间有电流流通。因此，输入脉冲上升时，在电阻 R 两端瞬间呈现电压。其后，电容 C 进行充电，R 两端电压急速降为0。

再有，输入脉冲下降时，由于 C 放电，R 两端呈现反向电压。C 的放电瞬间结束，R 两端电压恢复到0V。

(2) 积分电路

移分电路是输出为输入信号关于时间积分的电路。利用积分电路可产生三角波等。



积分电路的工作原理

输入脉冲上升时，电容 C 中有电流流通，C 两端无电压。然而，其后随着 C 的充电时间增长，C 两端电压慢慢上升。再有，脉冲下降时，C 处于放电状态，C 两端电压慢慢下降，一直下降到0V。

微分电路和积分电路中，R 与 C 之积(RC)称为时间常数，它影响着输出脉冲波形。若输入脉冲周期为 T，则要求时间常数与 T 的关系如下：

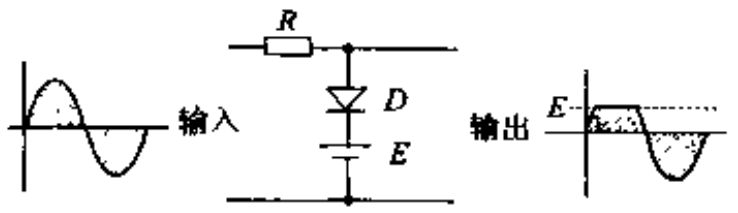
微分电路	$R \cdot C \ll T$
积分电路	$R \cdot C \gg T$

削波电路

博士　以某一定电平作为基准，除掉输入波形的上面部分或下面部分的电路称为削波电路。

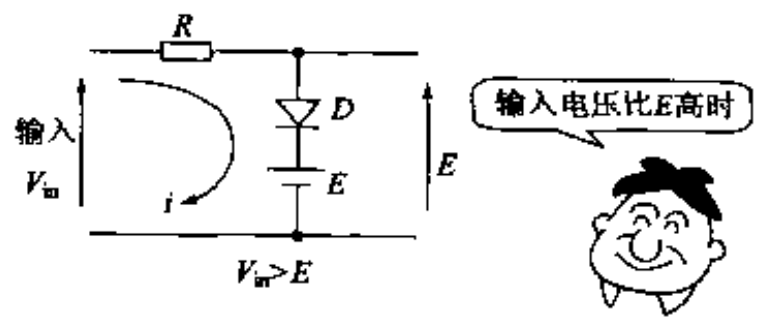
(1) 顶部削波电路

除掉输入电压波形中基准电压以上部分。



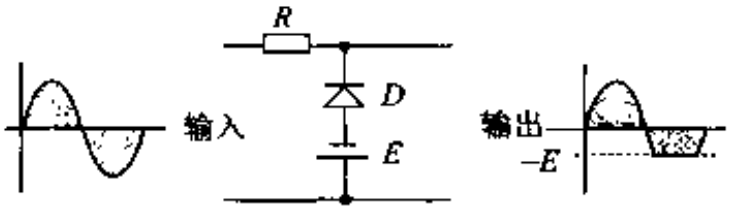
(顶部削波电路)

输入波形的电压在基准电压以下时，二极管 D 截止，无电流流通，则输出电压等于输入电压。输入波形的电压高于基准电压时，二极管 D 导通，有正向电流流通。输出电压等于基准电压 E，准确的是基准电压加二极管的正向压降。



(2) 底部削波电路

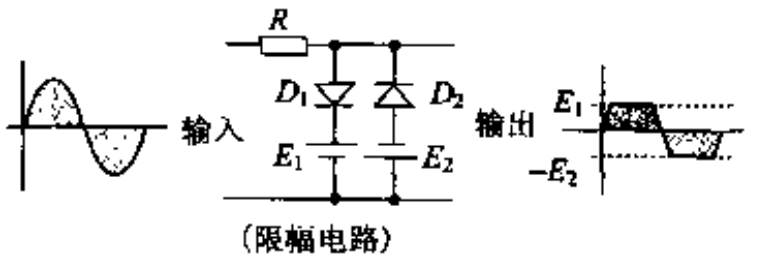
除掉输入电压波形中基准电压以下部分。工作原理与顶部削波电路一样。



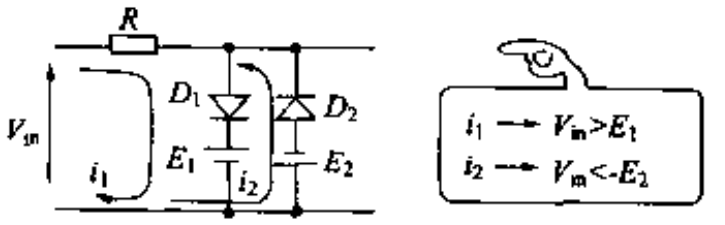
(底部削波电路)

限幅电路

将顶部削波电路与底部削波电路进行组合，根据基准电压除掉输入波形的基准电压以上部分或以下部分。



(限幅电路)

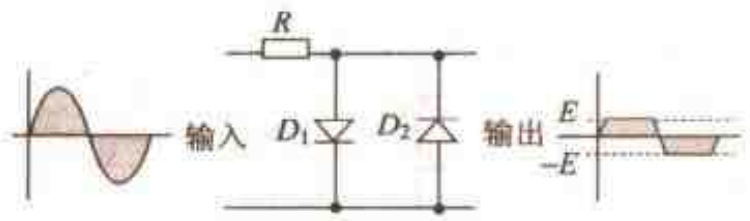


低基准电压限幅电路

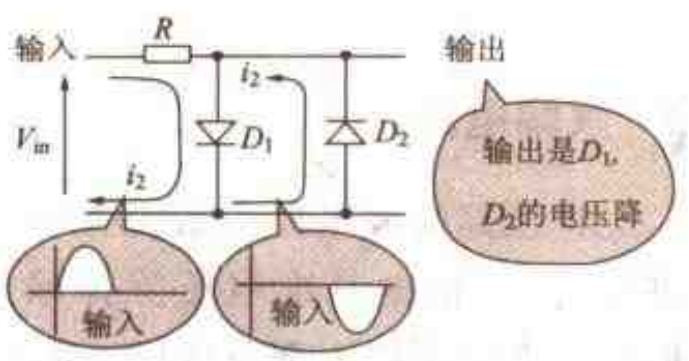
这是基准电压非常低，仅取出输入波形很小部分的电路。

小明　若对二极管加正向电压，则二极管导通。然而，二极管导通需要一定大小电压，称之为正向导通电压，锗二极管约为 0.3V，硅二极管约为 0.6V。

这种限幅电路就是利用加的电压低于二极管正向导通电压时二极管截止的原理。

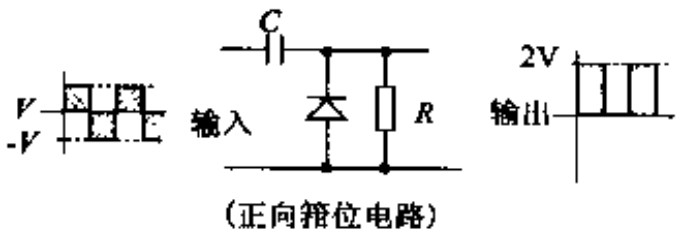


（低基准电压限幅电路）　E:0.3~0.6V



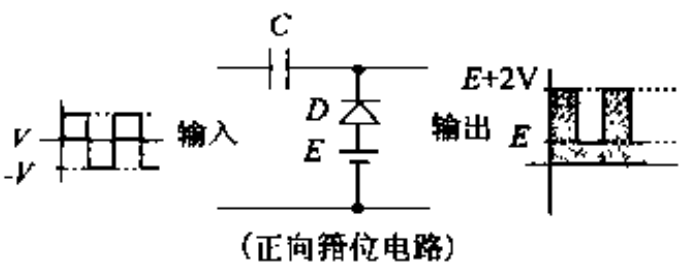
箝位电路

博士　输入波形的周期与振幅不变，以某基准电平为标准移动输入波形的顶部或底部，这种电路称为箝位电路。



（正向箝位电路）

若箝位电路中加入基准电压，输出电压仅按高的基准电压移动。



（正向箝位电路）

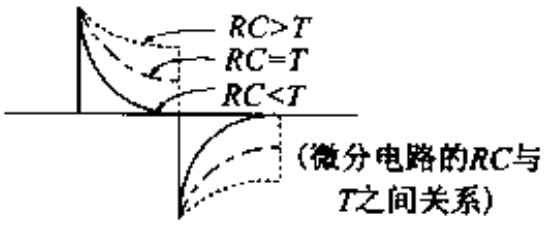
练习题

问题 1　微分电路和积分电路中，时间常数（*RC*）与周期要符合何种关系。

解答

微分电路　$RC \ll T$

积分电路　$RC \gg T$



（微分电路的*RC*与*T*之间关系）

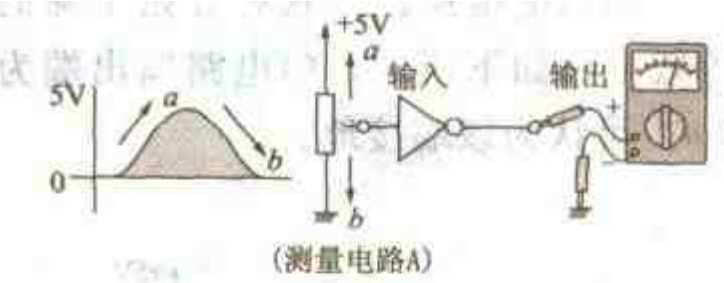
3 施密特触发器

主要学习施密特触发器的工作原理与应用

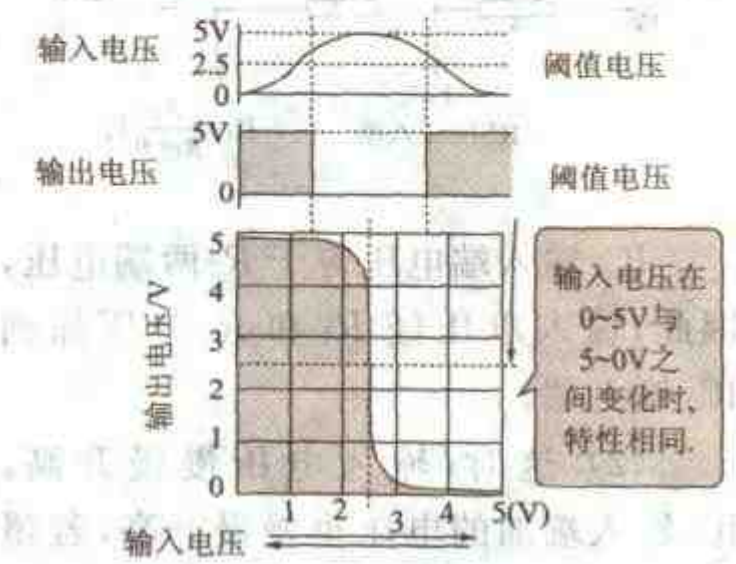


施密特触发器

博士 非门电路输入电压变化时测量输出电压的变化。



(测量电路A)

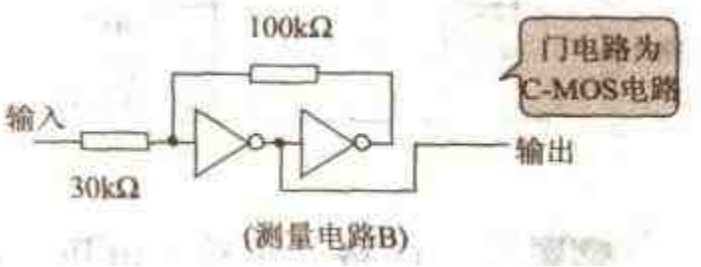


小明 将输入电压慢慢调高，调到约 3V 时输出电压反相。而这个集成电路的阈值电压约 2.5V，由此可知，该集成电路是 C-MOS 型。

小丽 继续调高输入电压，调到 5V 后再慢慢使其下降，仍然是下降到约 3V 时输出电压反相。

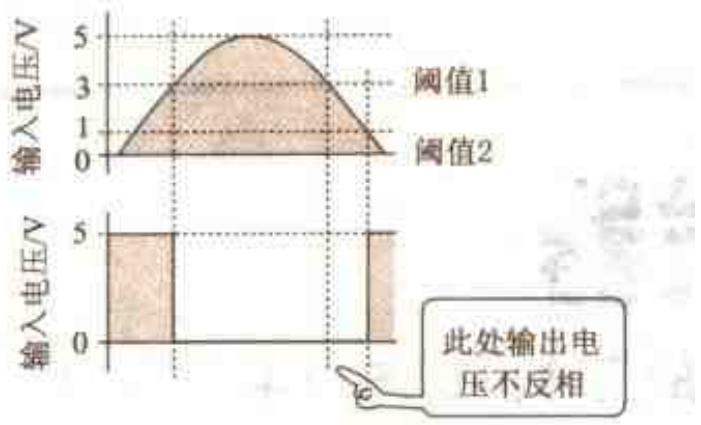
小丽 关于这方面内容在第 2 章已经学习过。

博士 是这样。这里注意到，输入电压升高与下降时阈值电压相同。那么，采用同样的方法对于下述电路加输入电压，考察这时的情况。



(测量电路B)

小明 观察一下实验结果。若将输入电压慢慢调高，调到约 3V 时输出电压反相。

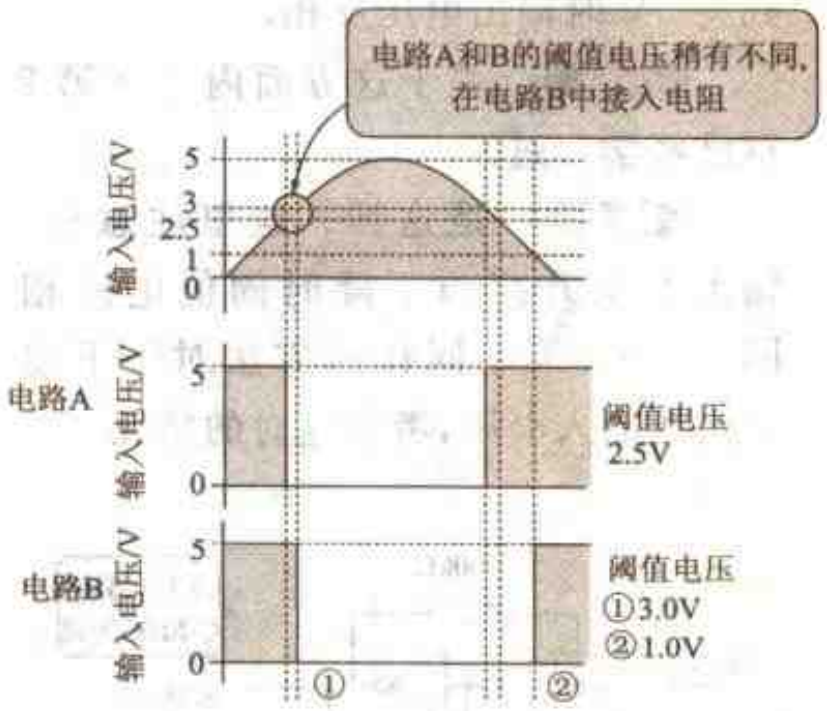


小丽 这种状况与上述测量电路相同。

小明 继续将输入电压调高到5V后，再使其慢慢下降。

输入电压下降到低于3V输出电压还不反相。输入电压继续下降到约1V时，输出电压才反相。

博士 试将这两个电路输出的结果进行比较。



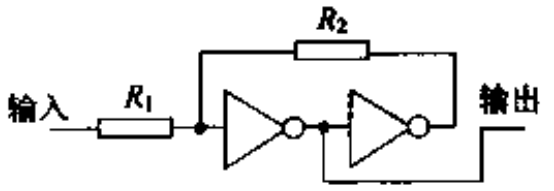
小丽 电路B中输入电压升高和下降时阈值电压不同。

博士 是这样。具有这种特性的电路称为施密特电路。

小明 为什么会呈现这样的特性呢？

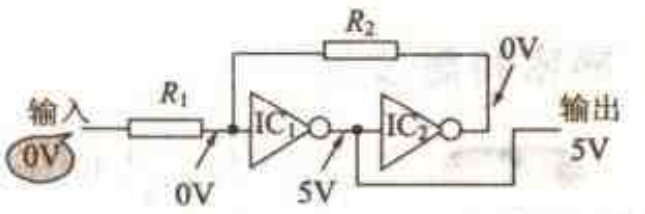
博士 这就要考察一下施密特电路的工作原理。

施密特电路的工作原理

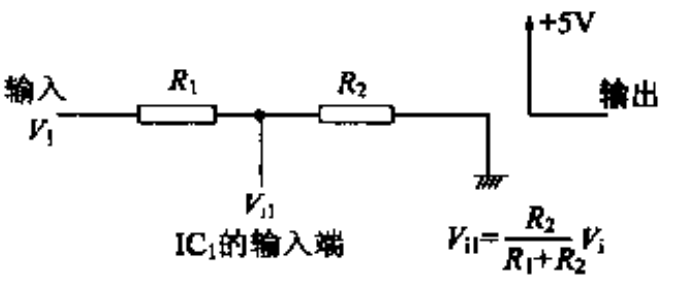


（施密特电路）

（1）输入电压为0V时，电路如下所示：

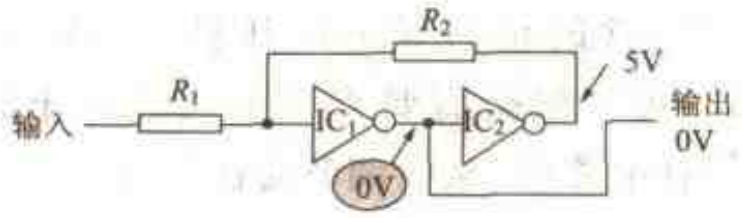


输入电压从这种状态开始下降的等效电路如下所示。门电路输出端为0时，可认为该端接地。

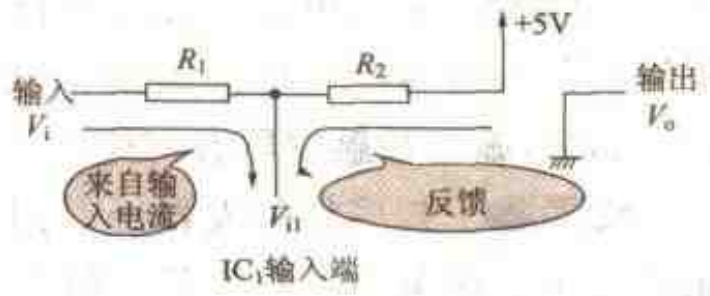


IC_1输入端电压等于R_2两端电压，因此，输入电压经R_1和R_2分压加到IC_1输入端。

（2）这时，输入电压慢慢升高。IC_1输入端加的电压也慢慢升高，若超过IC_1的阈值电压，则IC_1的输出由5V变为0V。

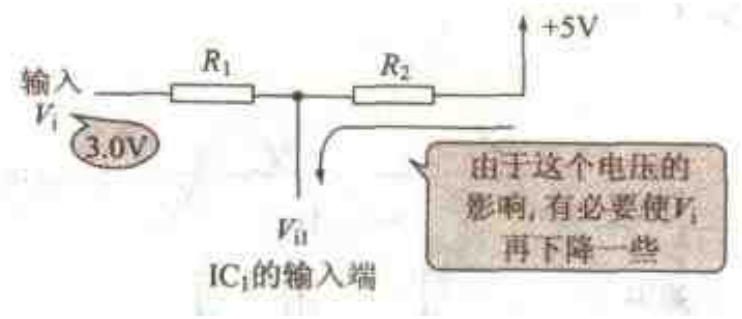


这时的等效电路如下所示。

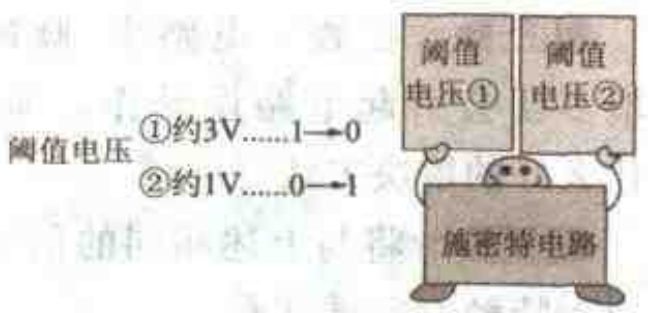


IC_2输出端5V电压通过R_2反馈到IC_1的输入端。也就是说，IC_1输入端电压仅升高这反馈电压。

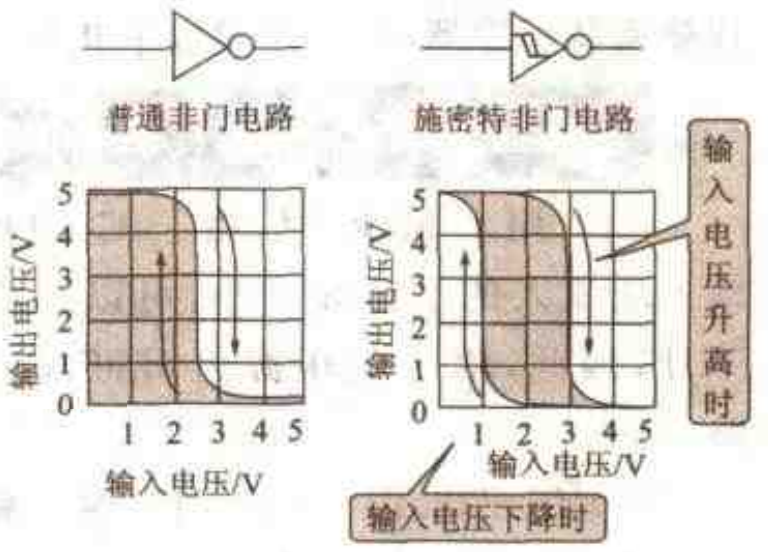
(3) 这时，输入电压慢慢下降。由于IC_1的输入端增加了反馈电压，因此，要将IC_1的输入端电压控制在其阈值以下，就得消除该反馈电压，输入电压要下降得多一些电路才反转。



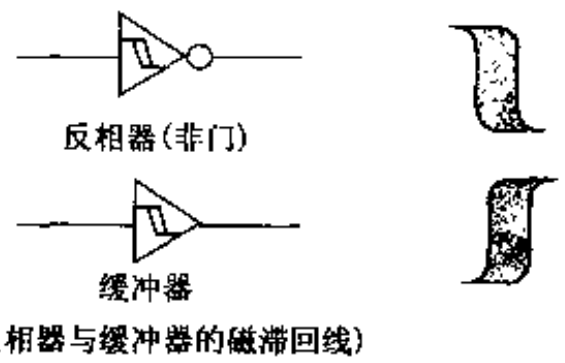
为此，IC_1输出电压由0电平变为1电平，有必要使V_i电压低于3V。



小丽 现将普通非门电路和施密特非门电路的输入输出特性归纳整理如下。

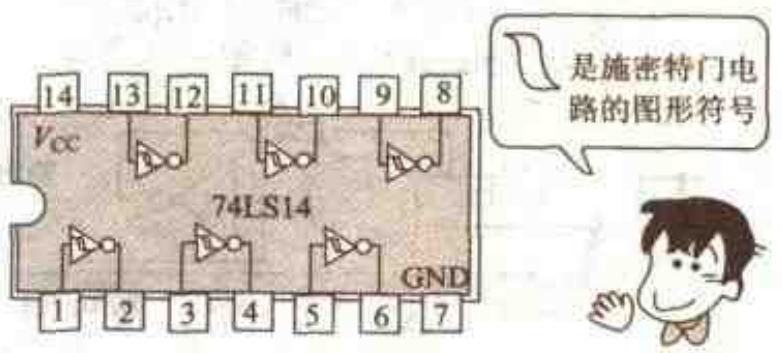


博士 施密特电路具有的这种特性称为滞回(回差)特性。另外，由于输入输出特性曲线是环状的，因此，也称为磁滞回线。



(反相器与缓冲器的磁滞回线)

市场上出售具有施密特触发特性的集成门电路。



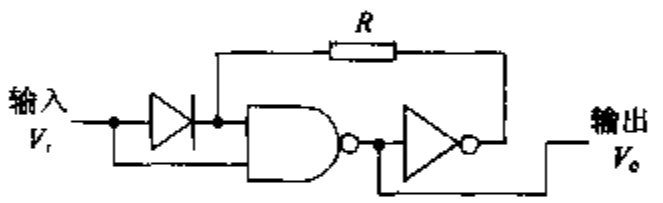
小明 施密特触发器是在普通门电路的图形符号中画上磁滞回线来表示。

博士 另外，用普通门电路组成施密特触发器时，要注意以下几点。

组成施密特触发器的注意事项

（1）用 C-MOS 时，由于 C-MOS 输入端流入的电流非常小，可以忽略不计，因此，输入电压源内阻可以忽略。

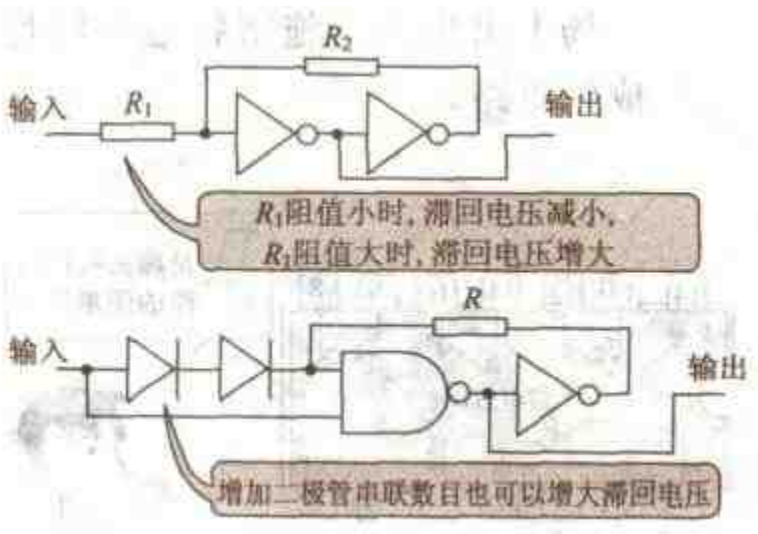
（2）用 TTL 时，由于 TTL 输入端流入的电流不能忽略，因此，输入电压源内阻低时，有必要采用下述电路。



(电源内阻抗低时，施密特触发器用非门(TTL)构成)

该电路利用二极管的正向电压降获得滞回电压。

小丽 施密特触发器的滞回特性可以调节吗？

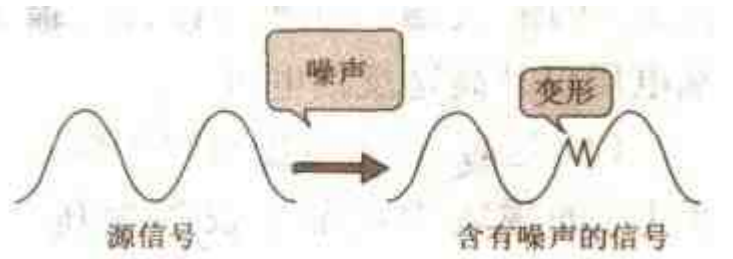


博士 改变 IC_1 输入端的反馈电压大小，就可以调节滞回特性。硅二极管的正向导通电压约 0.6V，因此，可以根据需要将多个二极管串联接在电路中，从而调节滞回特性。

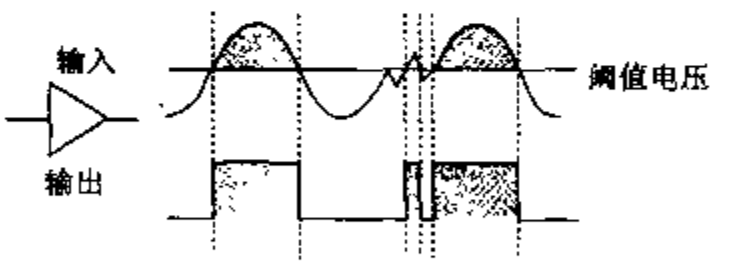
施密特触发器的应用

小丽 输入电压升高与下降时阈值电压不同的电路称为施密特触发器。那么，施密特触发器有何应用呢？

博士 施密特触发器经常用于除去噪声。例如，试考察下述信号中含有噪声的实例。



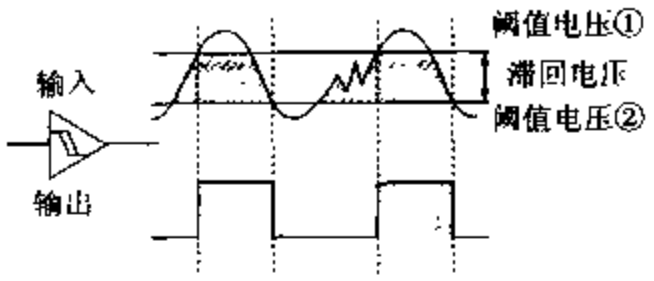
小明 若将含有噪声的信号输入到普通缓冲器，则输出波形变成下述形式。



小丽 只是二个脉冲，由于噪声的影响增加为三个脉冲。

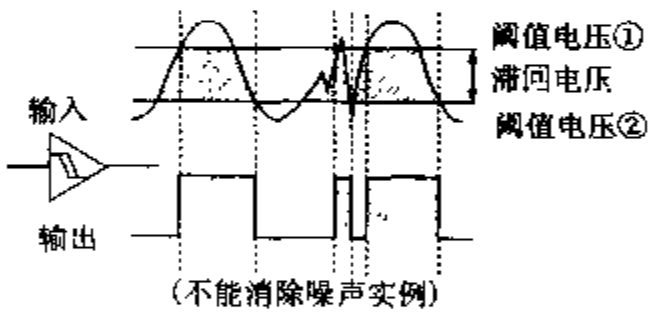
小明 在数字电路中，脉冲数目增多就会引起电路误动作。那么，有什么好的解决方法呢？

博士 将与上述相同的信号加到施密特触发器试试看。



小丽 施密特触发器的滞回特性消除了噪声的影响，输出信号与输入信号一样只有二个脉冲。也就是说，吸收了噪声影响增加的脉冲。

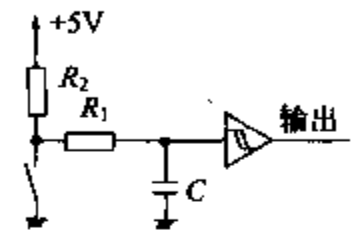
博士 是这样。然而，施密特触发器不是万能的。有些噪声利用施密特触发器也不能消除。因此，施密特触发器有效吸收的噪声只限于滞回电压之差中。



(不能消除噪声实例)

小明 在第 2 章中已经学习过，用机械开关发生抖动现象。若利用施密特触发器，能消除抖动的影响吗？

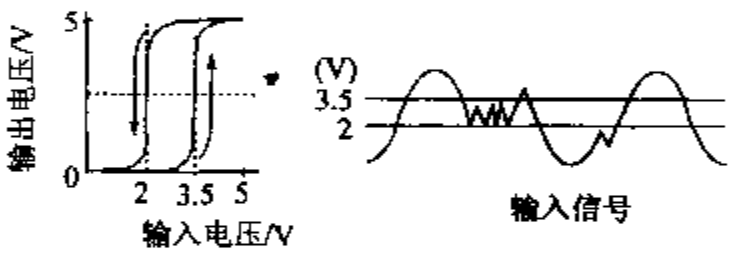
博士 很好，还记得这个问题。施密特触发器用于防止开关抖动实例如下所示。



(消除抖动电路)

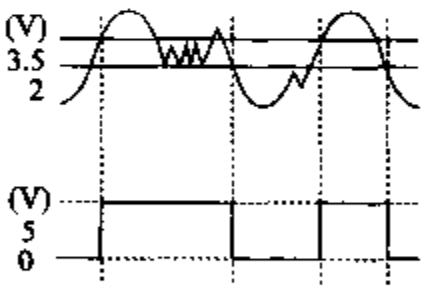
练习题

问题 1 在下述施密特触发器中输入信号时，输出波形将如何呢？



施密特触发器的输入输出特性

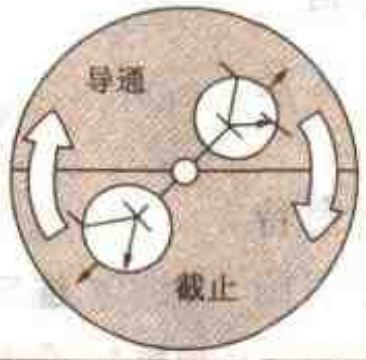
解答



输出波形

4 实　践

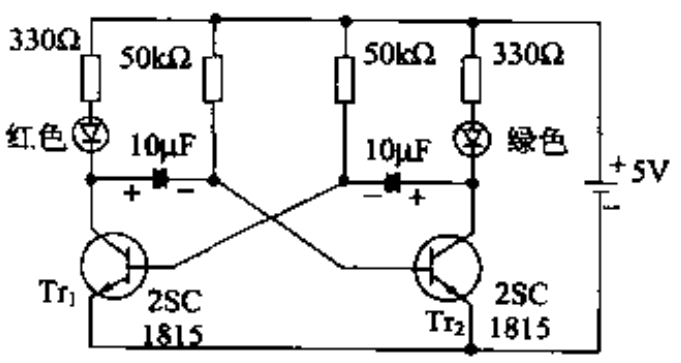
用实验验证多谐振荡器的工作原理



无稳态多谐振荡器制作

制　作

博士　制作无稳态多谐振荡器，并做几个实验。



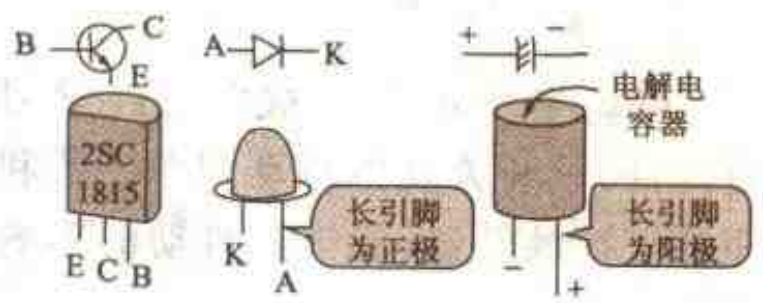
小明　需要的元器件列于下表中：

无稳态多谐振荡器的元器件表

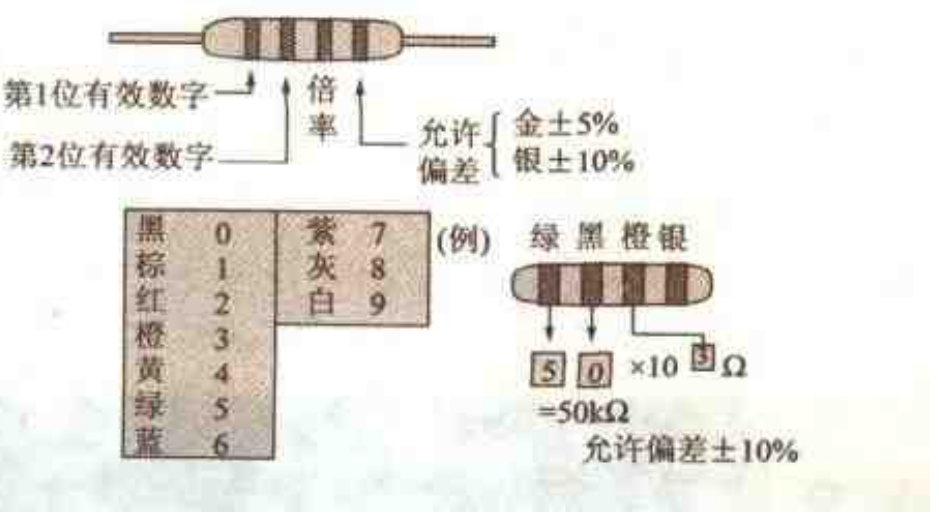
晶体管		2SC1815	2 个
LED	红色		1 个
	绿色		1 个
电解电容器		10μF	2 个
电阻	50kΩ		2 个
	330Ω		2 个

博士　直流电源使用第 1 章制作的电源，晶体管选用 2SC 类型，电阻和电容的值与表中有些差别也没有太大的关系。

请注意晶体管、LED 和电解电容器等的极性。



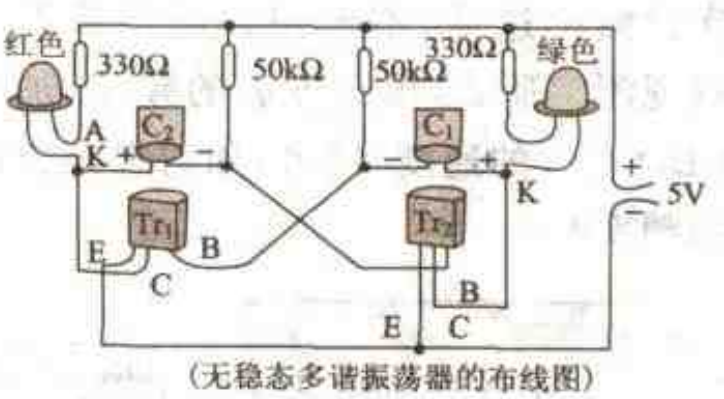
电阻的色环如下所示，请确认。



小丽 选用什么样的印刷电路板呢?

博士 我认为选用小型万能实验板较方便。孔直径为 2.54mm 即可。印刷电路板有酚醛纸型和环氧玻璃型,其中环氧玻璃印刷电路板有强度高的优点,但价格贵。我们选用酚醛纸印刷电路板就可以了。那么,现在开始制作吧。

小明 按照电路图将元器件配置好,焊接起来就非常方便。

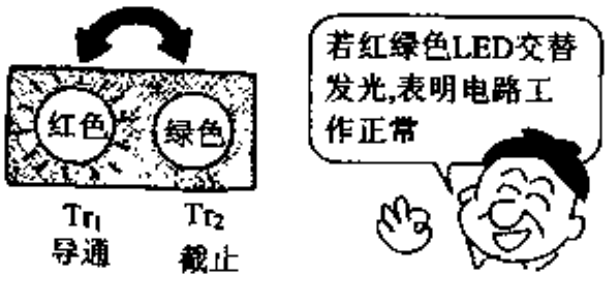


(无稳态多谐振荡器的布线图)

博士 按照第 1 章传授的焊接秘诀进行焊接,焊接好以后,再检查一下接线是否正确、焊接是否良好。

测量实验

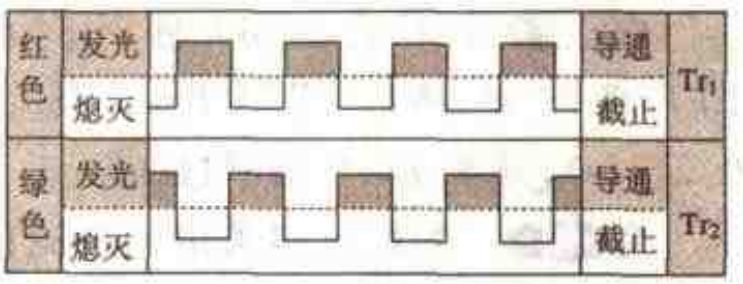
博士 确认接线无误,接上电源。



小明 成功啦!红绿色 LED 交替发光。

博士 电路这样动作就表明电路工作正常。

在电路中,Tr_1 导通时,红色 LED 发光;Tr_2 导通时,绿色 LED 发光。LED 亮灭状态用方波表示如下所示。



根据电路图可计算出方波的周期与频率。

小明 无稳态多谐振荡器产生的方波周期 T 可计算如下,即 $T=0.7\times(C_1\times R+C_2\times R_2)$(s)。制作的电路中 C_1 和 C_2 都选用 10μF,R_1 和 R_2 为 50kΩ,因此,方波周期 $T=0.7\times(2\times10\times10^{-6}\times50\times10^{3})=0.7$(s)。

注

$1(\mu F)=10^{-6}(F)$

$1(k\Omega)=10^{3}(\Omega)$

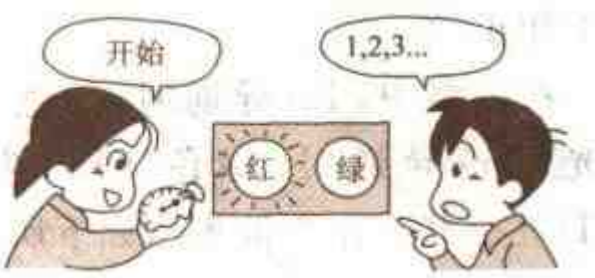
小丽 因为频率 $f=/T$(Hz),所以 $f=1.4$(Hz)。

博士 现根据制作的电路,实际测量周期和频率。

测量时,用手表观察一下在 60 秒时间内 LED 亮几次即可。制作的电路中因是 $R_1\ C_1=R_2\ C_2$,所以,测量红、绿 LED 中任何一个均可。

小明 红色 LED 在 60 秒时间内亮 85 次。

博士 那么,周期是几秒呢?



小丽 因为在60秒时间内LED亮85次，所以，周期 $T=60/85\approx0.706$(s)，频率 $f=1.416$(Hz)。

小明 根据电路求出的理论值和实际测量的值不一致。

	理论值	实测值
周期T	0.7s	0.706s
频率f	1.4Hz	1.416Hz



博士 实测值必定有误差，在这次的实验中理论值与实测值之差还是非常小。因此，若将误差考虑在内，理论值与实测值就非常一致。

博士 引起误差原因有哪些呢？

博士 这个问题提的好。进行任何实验都会存在误差，但考虑引起误差的原因也非常重要。这个实验的误差原因主要有以下几点。



(1) 根据电路图周期按 $T=0.7\times(C_1\times R_1+C_2\times R_2)$(s)计算。这里，电阻用50kΩ，电容用10μF，但电阻和电容必定有误差，普通电阻的误差为5～10%，电容的误差超过5%～10%。

(2) 还要考虑实测LED点亮次数的误差。例如，开始计数的时间与经过60秒时瞬间LED点亮计数时，在时间上没有考虑到微秒。

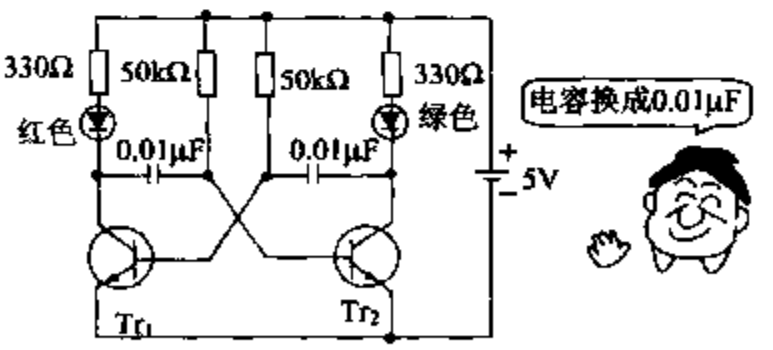
(3) 还要考虑测量仪器的误差。这个实验使用手表测量60秒的时间。

观测波形

博士 再观测一下方波波形。观测波形一般用示波器，但对于这个实验频率过低，不便用普通示波器进行观测。那么，提高方波的频率(加快LED亮灭的速度)即可，如何提高方波的频率呢？



小明 因为，频率是周期的倒数，所以，为了提高频率，就意味着减小周期。根据周期的表达式可知，减小 R 或 C 的值就可减小周期。



博士 是这样。减小电容值时，C_1 和C2要换成0.01μF。

小丽 更换电容以后，接上电源，两个 LED 均亮。



小明 什么元器件坏了吧？

博士 在确定元器件是否损坏之前，先计算电路方波的周期与频率，周期为

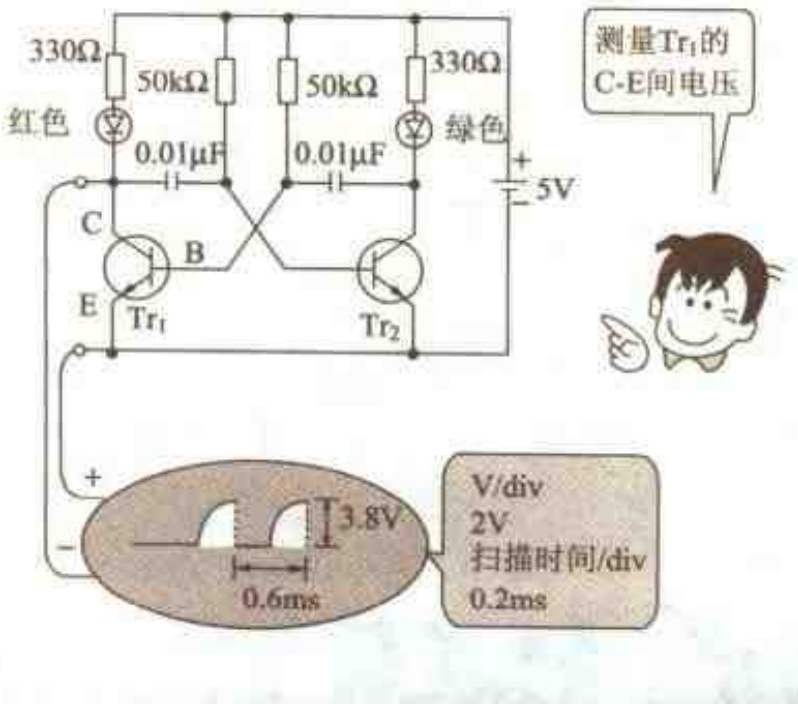
$$T = 0.7 \times (C_1 \times R_1 + C_2 \times R_2)$$
$$= 0.7 \times (2 \times 0.01 \times 10^{-6} \times 50 \times 10^3)$$
$$= 0.0007(\text{s})$$

频率 $f = 1/T = 142.85(\text{Hz})$.

小明 也就是说，LED 在 0.0007 秒时间发亮 1 次。

博士 人眼看不出 LED 交替亮灭的情况，但 LED 确实高速亮灭时，可用示波器观测这种情况。

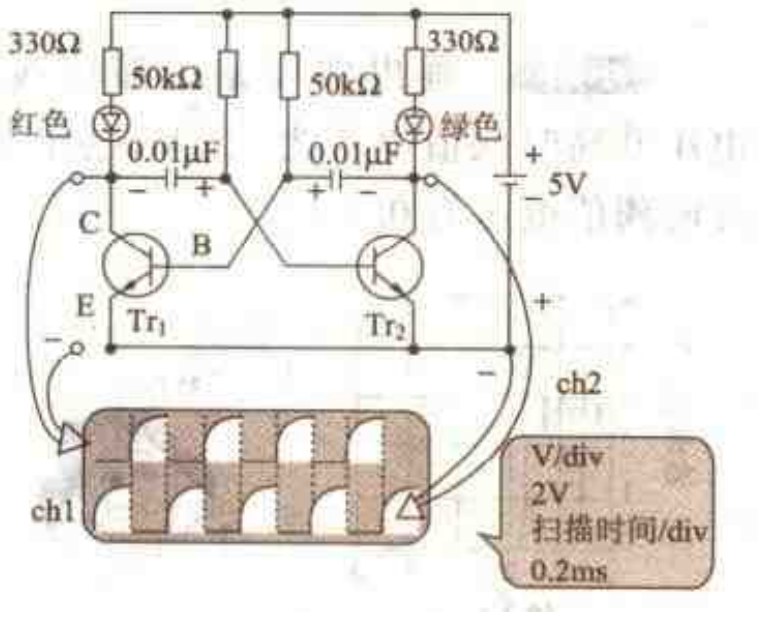
将晶体管的集电极与发射极接在示波器输入端观测电路波形。



小丽 确实观测到晶体管重复通/断情况，根据观测的波形可知周期为0.0006秒，这与前面计算结果基本一致。

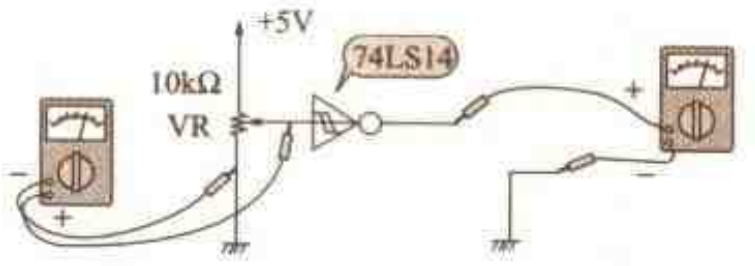
博士 用示波器通道 1 观测 Tr_1 的工作状态，同时用示波器通道 2 观测 Tr_2 的工作状态。

小明 由波形可知，二个晶体管重复通/断工作，但不能同时导通或截止。



施密特触发器

博士 研究一下施密特触发器的滞回特性，实验电路如下所示。



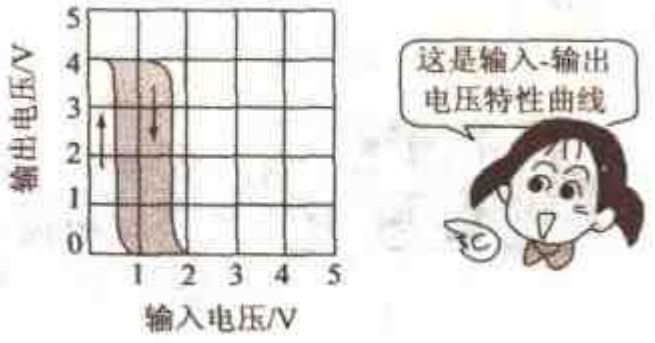
改变加在施密特触发器输入端电压，在电压升高与下降时测量输入输出电压特性，测量数据如下所示。

输入电压/V	输出电压/V
0	4.0
0.2	4.0
0.4	4.0
0.6	4.0
～	～
5.0	0.0
4.8	0.0
4.6	0.0
…	…





小丽　画出曲线是磁滞回线。电压升高时阈值电压为 1.4V，电压下降时阈值电压为 0.6V。

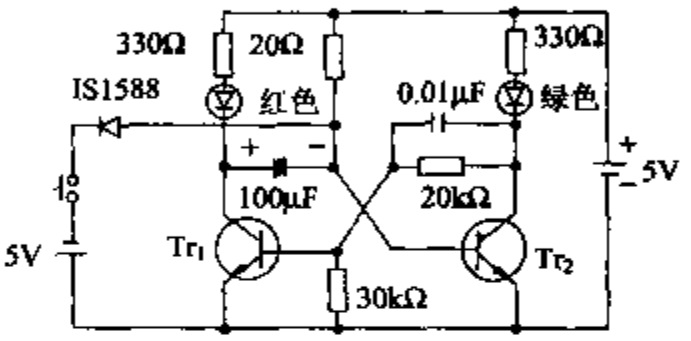


博士　试将实验结果与第 2 章实践一节中研究的非门输入输出特性曲线进行比较。

小明　用实验验证已学过的施密特触发器，并深刻地理解其工作原理。

练习题

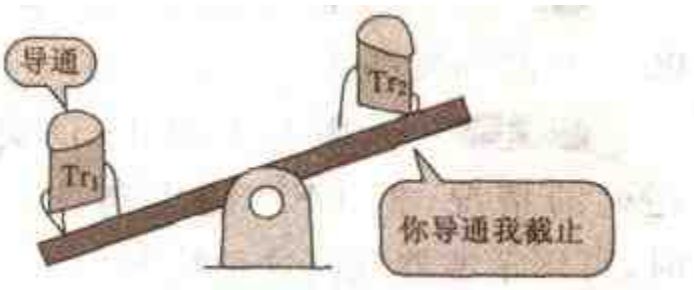
问题 1　试验证一下制作的单稳态和双稳态多谐振荡器的工作原理。



（单稳态多谐振荡器）

解答

省略。工作原理参看本章内容。

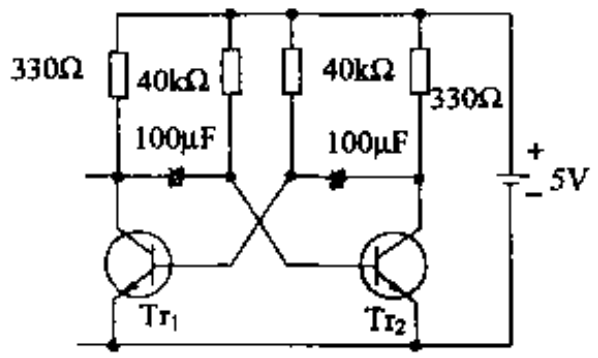


Q 挑战题

1. 下列多谐振荡器各有几个稳定状态。 （参见答案）

①无稳态多谐振荡器 ②单稳态多谐振荡器 ③ 双稳态多谐振荡器

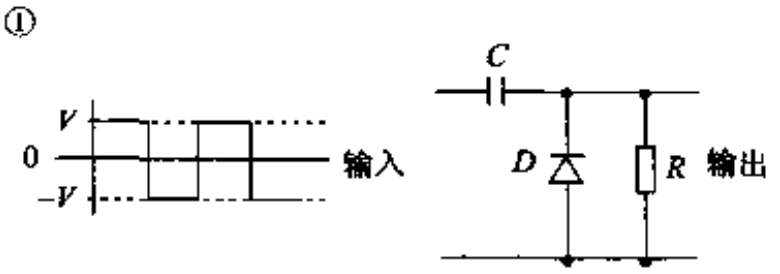
2. 试计算下列多谐振荡器的周期与频率。 （参见答案）



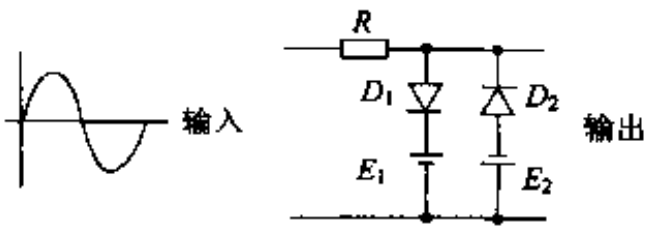
3. 下列图①～图④的电路称为何种电路。在各自电路输入信号时，试考察输出波形。

（参见 123～126）

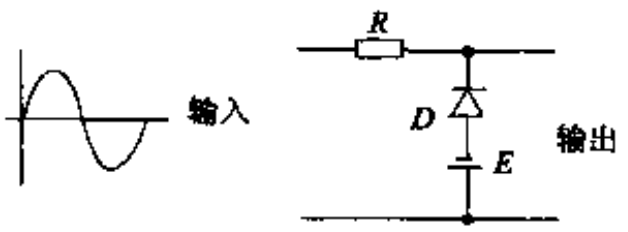
①



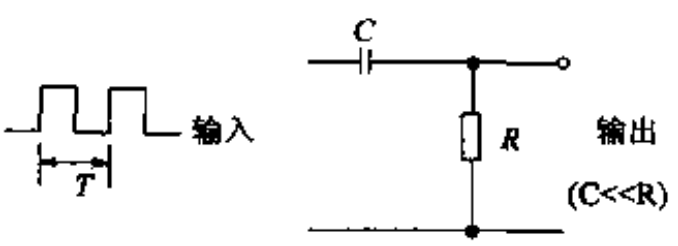
②



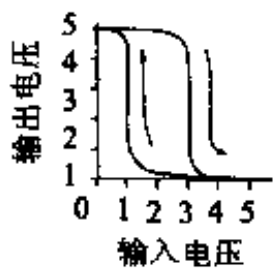
③



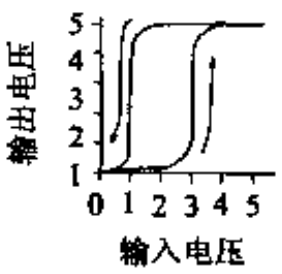
④



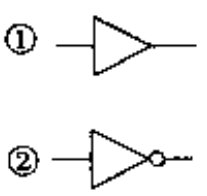
4. 下述曲线是哪种施密特触发器的磁滞回线。 （参见答案）



曲线A



曲线B



A 答案

1. ①0 ②1 ③2

2. 周期 $T=0.7\times2\times C\times R=0.7\times2\times100\times10^{-6}\times40\times10^{3}=5.6(s)$

频率 $f=\frac{1}{T}=\frac{1}{5.6}\approx0.179(Hz)$

4. 曲线 A——② 曲线 B——①

第 5 章

存储器电路



博士



小明



小丽

本章学习目的

迄今为止学习的数字电路中,任意时刻的输出信号仅取决于该时刻的输入信号,而与信号作用前电路原来所处的状态无关,这样的电路称为组合逻辑电路。另外,任一时刻的输出信号不仅取决于当时的输入信号,而且还取决于电路原来的状态,或者说,还与以前的输入有关,这样的电路称为时序逻辑电路。

时序逻辑电路是利用存储数据状态的存储器。本章开始学习1位数据存储器电路、触发器电路等有关内容。触发器电路有很多类型,本章简单介绍RS触发器、T触发器、D触发器和JK触发器,请深刻理解各自电路的特征。

另外,后半章主要介绍移位寄存器,存储数据的电路也称为寄存器,将多个寄存器组合使用,数据逐位左移或右移的电路就是移位寄存器。

已经学过的组合逻辑电路是这些时序逻辑电路的基本电路,时序逻辑电路没有特别难理解的地方,不用担心,从寄存器开始学习吧。

1 RS触发器

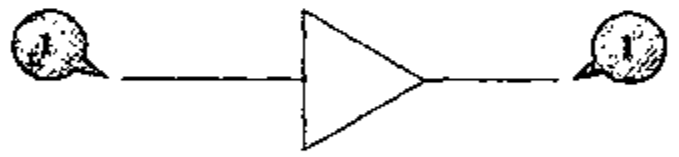
主要学习触发器典型电路RS触发器



存储器电路

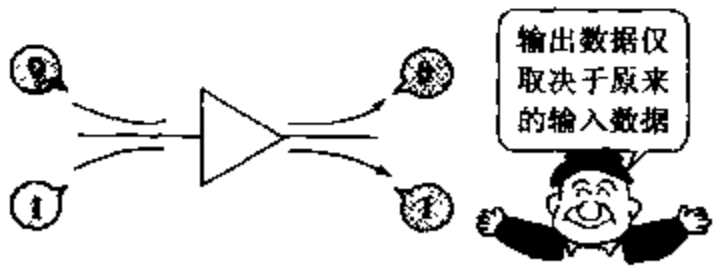
博士 试考虑数字电路中称为“存储”的意思。例如，下列缓冲器电路 A 中输入数据 1 的情况。

小明 这时，输出仍然是 1。

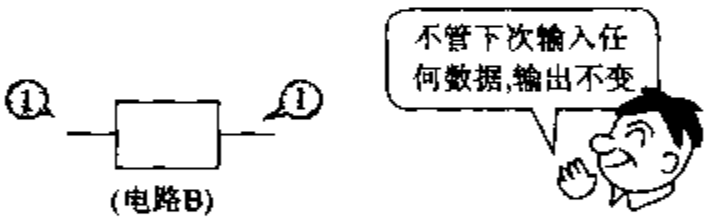


(缓冲器电路A)

博士 是这样。若输入数据为 0，输出也变为 0，也就是说，输出数据随最初输入数据而改变。



再考虑电路 B 的情况，输入为 1，输出也为 1，不管下次输入任何数据，输出仍然是 1。



(电路B)

小丽 也就是说，电路 B 保存最初的输出(输入)数据。

博士 这就是存储器电路。存储 1 位数据的电路称为触发器。另外，保持给定数据的功能也称为锁存。

触发器

小明 触发的意思是什么呢？

博士 所谓触发就是扣枪机的意思。触发器具有两个稳定状态，根据所加触发信号而改变，因此，称为触发。

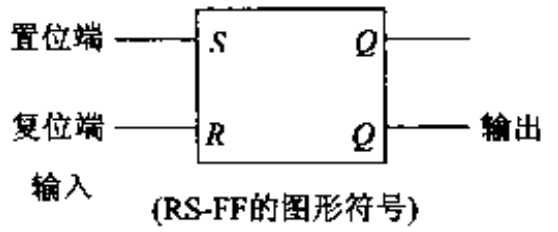


另外，触发器多简称为 FF，FF 有很多类型。先学习 FF 的典型代表 RS 触发器。

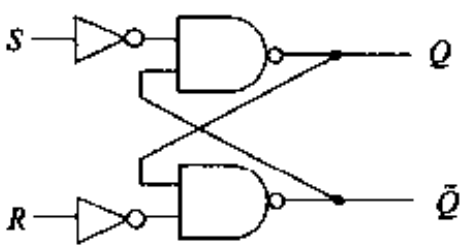
RS 触发器

博士　RS 触发器简称 RS-FF，图形符号如下所示。

再看一看实际 RS-FF 电路。

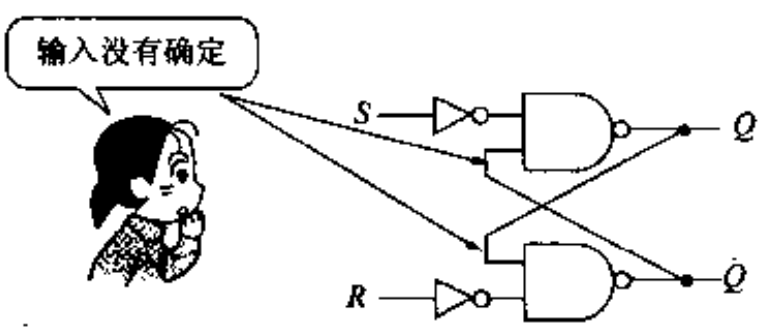


(RS-FF的图形符号)



(RS-FF电路)

小丽　门输入没有确定，因此，不能列出电路的特性表，但是……

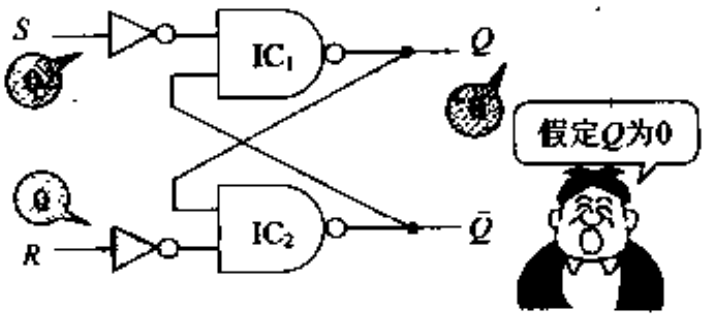


博士　那么，说明 RS-FF 的工作原理。

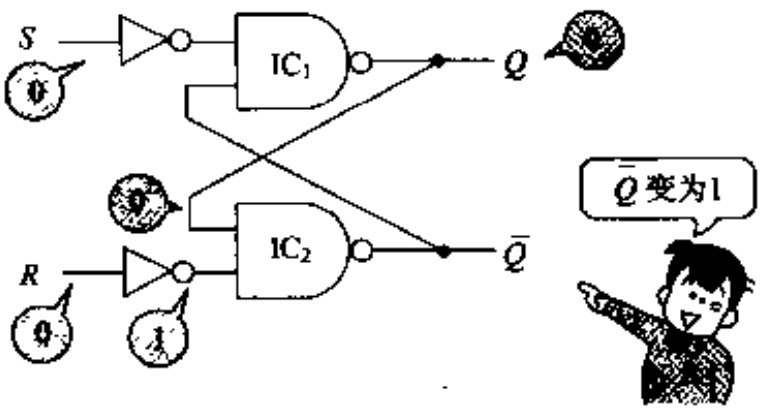
RS-FF 的工作原理

(1) $S=0, R=0$ 时

① 假定 Q 为 0。

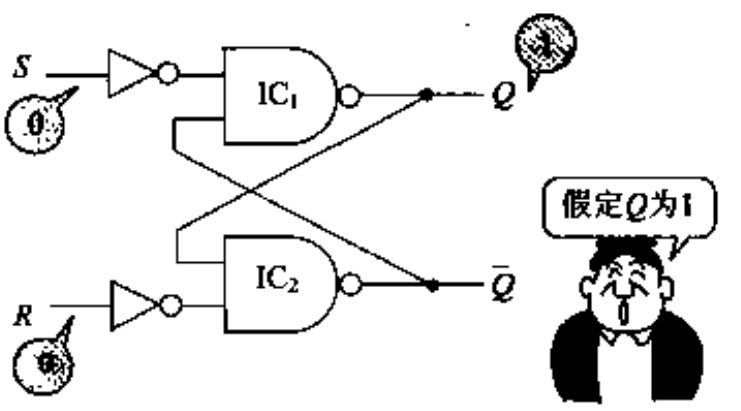


IC_1 的输入变为 0，1，输出 Q 变为 1。

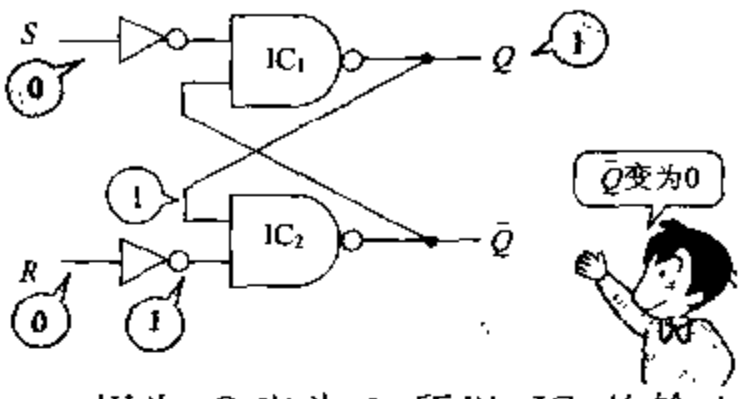


因为 $\bar{Q}$ 为 1，所以，IC_1 的输入变为 1，1，输出 Q 变为 0。这与最初 Q 为 0 的假定相同，即 Q 的状态不变。

② 假定 Q 为 1。



IC_2 的输入变为 1，1，输出 $\bar{Q}$ 变为 0。



因为，Q 变为 0，所以，IC_1 的输入变为 1，0，Q 变为 1。这与最初 Q 为 1 的假定相同，即 Q 的状态不变。

结果，$S=0$，$R=0$ 时，输出 Q 保持最初的状态。

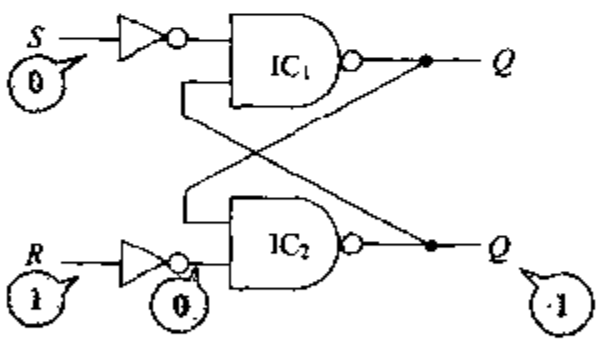
S	R	Q	$\bar{Q}$
0	0	Q	$\bar{Q}$
0	1		
1	0		
1	1		

输出维持原来的状态

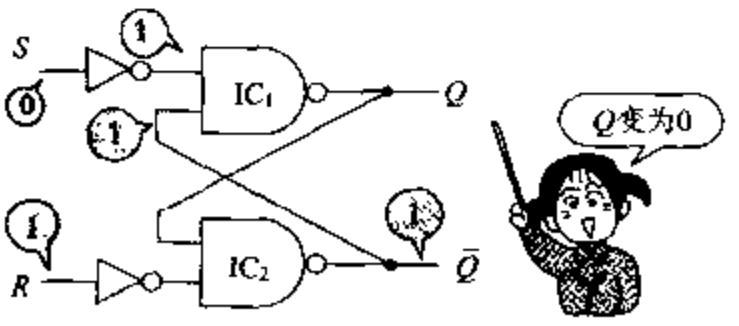
(2) $S=0$，$R=1$ 时

因为 R 为 1，经过非门变为 0，所以 IC_2 的输入为 0。

IC_2 为与非门，对于与非门一个输入为 0，输出必为 1。



因为，输出 $\overline{Q}$ 为 1，所以，IC_1 的输入变为 1，1，输出 Q 变为 0。

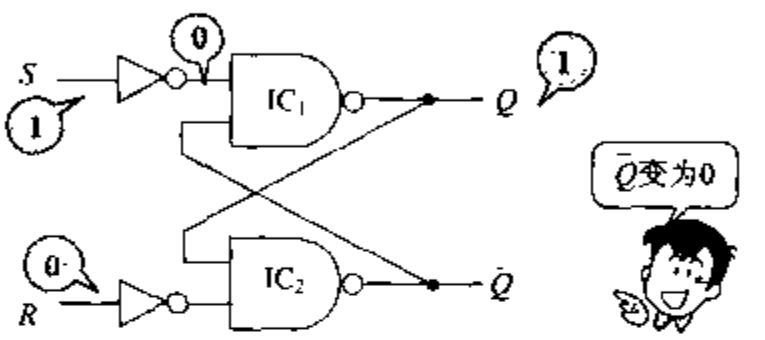


(3) $S=1$，$R=0$ 时

因为 S 为 1，经过非门变为 0，所以 IC_1 的输入为 0。

与上述道理一样，输出 Q 变为 1。

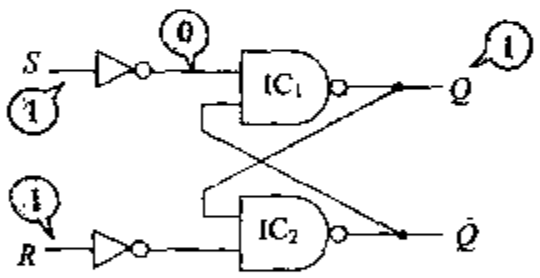
因为，输出 Q 为 1，所以，IC_2 的输入变为 1，1，输出 $\bar{Q}$ 变为 0。



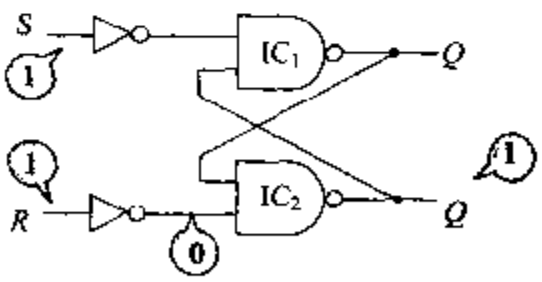
(4) $S=1$，$R=1$ 时

因为 S 为 1，经过非门变为 0，所以 IC_1 的输入为 0。

因此，输出 Q 变为 1。



同样，R 为 1，IC_2 的输入变 0，输出 $\overline{Q}$ 变为 1。

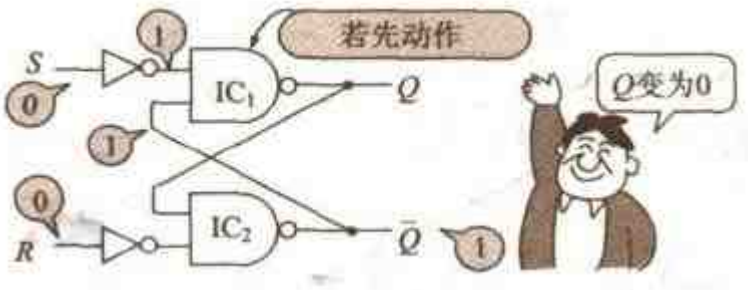


这里应注意的是，若上述那样考虑，$S=1$，$R=1$ 作为输入时，输出 $Q=1$，$\overline{Q}=1$ 是不稳定状态。若下次输入 $S=0$，$R=0$ 时，触发器的 Q 与 $\overline{Q}$ 变为

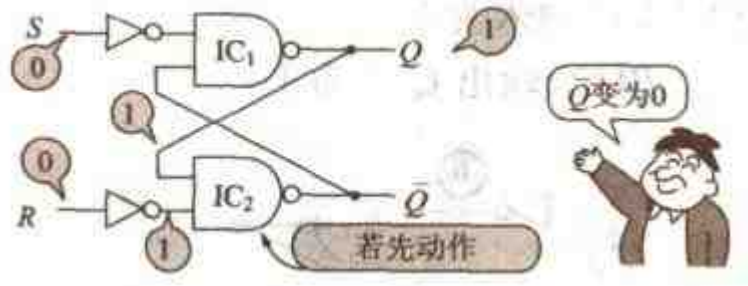
0、1或1、0，则触发器状态不确定，因此，$S=1$，$R=1$的状态是不允许的。

小明 这是什么意思？

博士 当$Q=1$，$\overline{Q}=1$稳定时，假定输入$S=0$，$R=0$，若IC_1优先动作，则输出$Q=0$，$\overline{Q}=1$。



然而，若IC_2先动作，输出$Q=1$，$\overline{Q}=0$。



所以，RS-FF的下次输出状态不确定，因此，禁止$S=1$，$R=1$这种状态。最终结果获得的RS-FF特性表（或称为状态真值表、状态转换真值表）如下。

RS-FF特性表

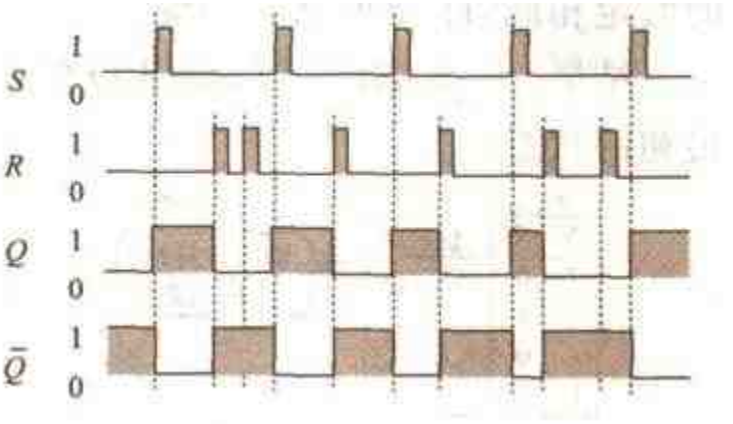
S	R	Q	$\overline{Q}$	
0	0	Q	$\overline{Q}$	← 保持
0	1	0	1	
1	0	1	0	
1	1	X	X	← 禁止

小明 对于RS-FF，若置位端一次输入数据1，复位端为0，其后置位端的输入即使改变，仍保持最初输入的数据1。

小丽 然后，若复位端输入数据1，则保持的数据1变为0，即复位。

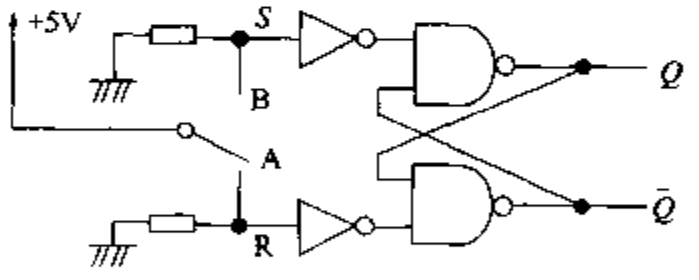
博士 是这样，这就理解为什么RS-FF是1位数据存储器电路。

试用下列时序图确认RS-FF的工作状态。

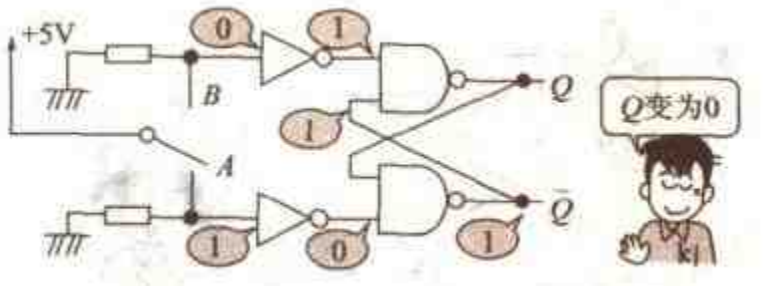


RS-FF的应用

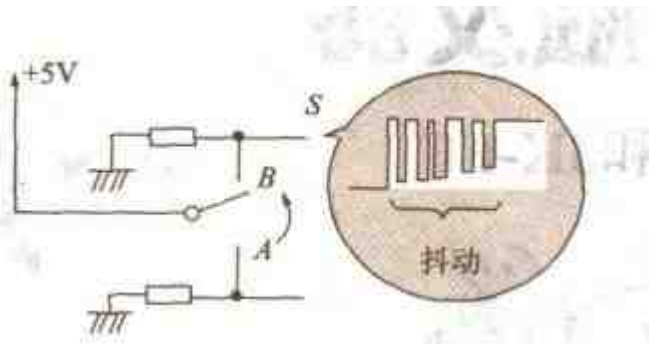
博士 RS-FF可用于防止机械开关引起的抖动。



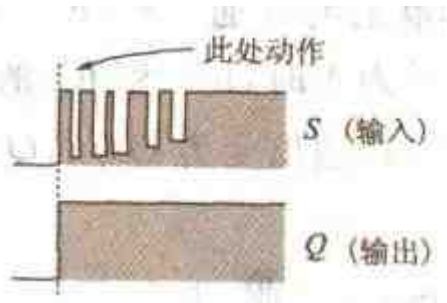
小明 对于上述电路，开关接在A时，输出Q稳定为0的状态。



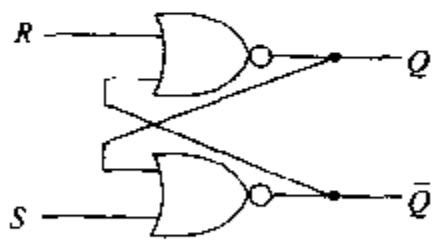
博士 若开关接到B，由于抖动的影响，加在S端的信号的变化情况如下图所示。



然而，对于RS-FF，S端一次输入1，以后输入无论是0还是1，输出Q维持1的状态不变。即输出Q不受抖动的影响。

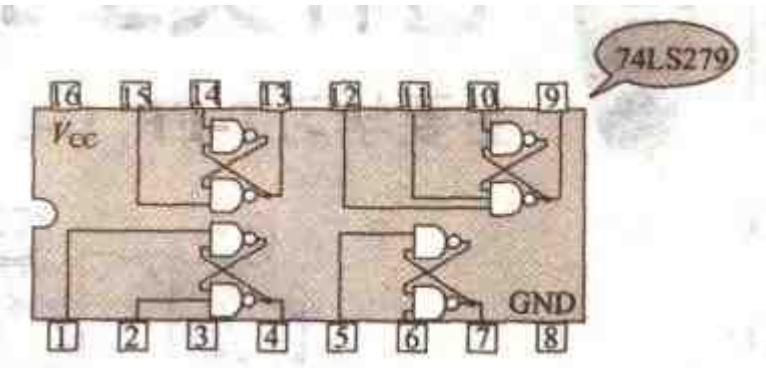


小丽 RS-FF也可以用或非门构成。



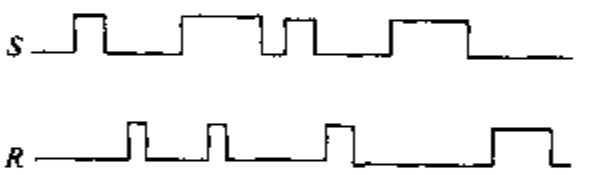
(用或非门构成的RS-FF)

博士 RS-FF可用与非门及或非门等简单构成，但市场也有专用集成电路出售。

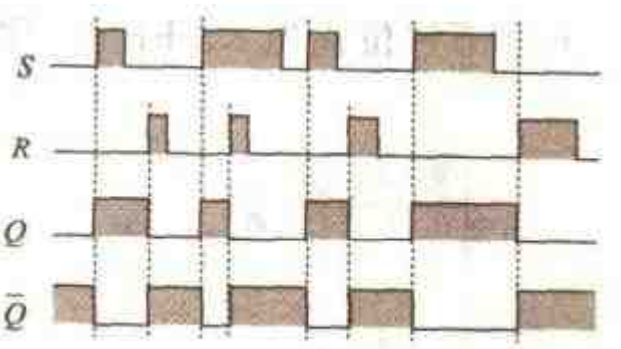


练习题

问题1 在RS-FF的S与R端输入下述那样的信号时，输出Q和$\bar{Q}$的波形为何种形式呢？

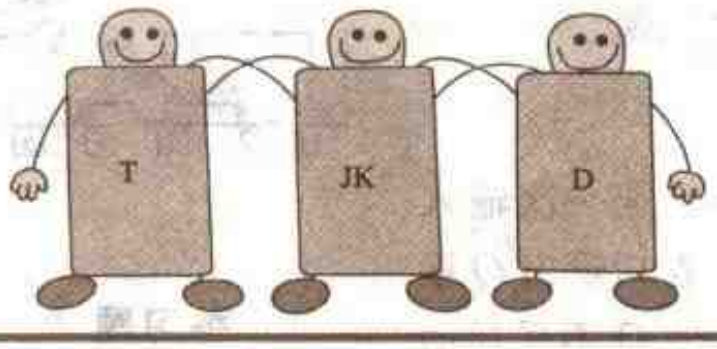


解答



2 各种类型的触发器

主要学习T-FF, D-FF和JK-FF



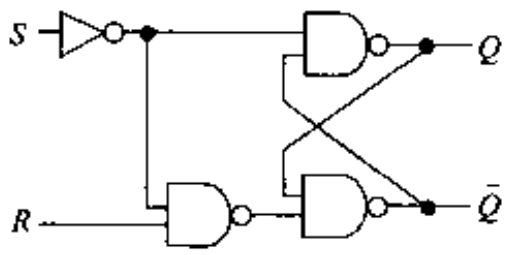
置位优先 RS-FF

博士 上节学习 RS-FF 时，输入 S 和 R 同时为 1 为禁止状态。也有不是这种情况的，即输入 $S=1, R=1$ 时，S 输入优先动作的置位优先 RS-FF。

看一下置位优先 RS-FF 电路图。

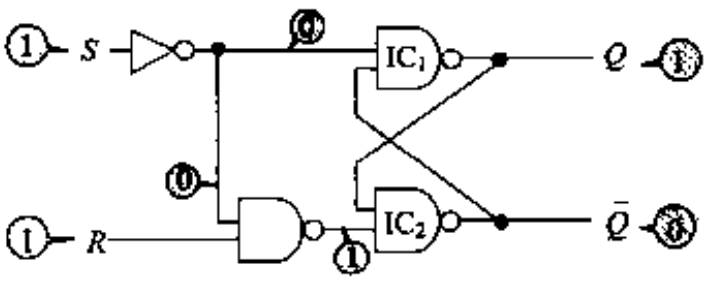
S	R	Q	$\bar{Q}$	
0	0	Q	$\bar{Q}$	← 保持
0	1	0	1	
1	0	1	0	
1	1	1	0	← 置位

(置位优先RS-FF特性表)



(置位优先RS-FF电路图)

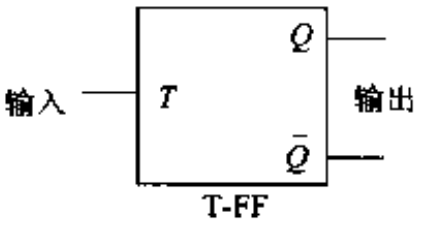
小丽 输入 S 和 R 不同时为 1 时，工作状态与普通 RS-FF 一样，但 S 和 R 同时为 1 时，IC_1 和 IC_2 的输入各自变为 0、1，输出变为 $Q=1, \bar{Q}=0$。



小明 也就是说，与输入 $S=1, R=0$ 时工作状态相同。

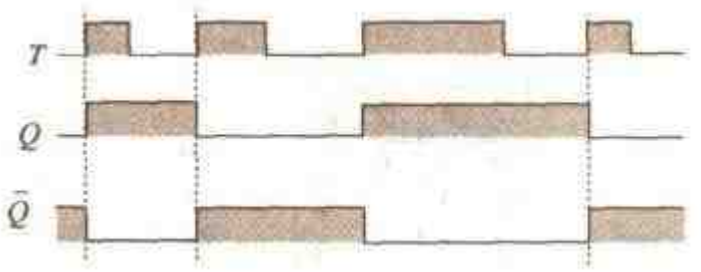
T-FF

博士 T-FF 是反转触发器的简称。

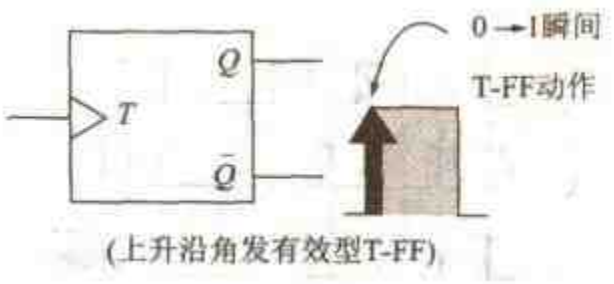




对于 T-FF，每来一个输入，输出反转一次。用下列时序图确认 T-FF 的工作状态。



小明 在这个时序图中，输入脉冲从 0 到 1 的上升瞬间 T-FF 动作。



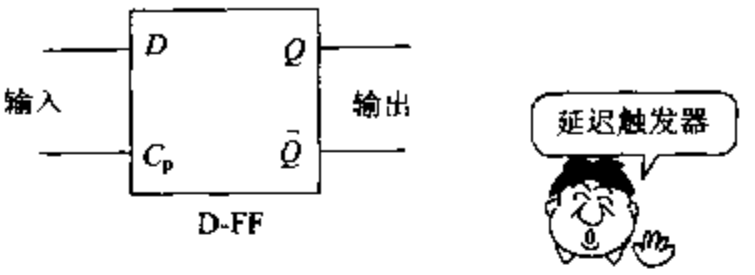
小丽 这种类型触发器称为边沿触发器，这在第 2 章已经学习过。

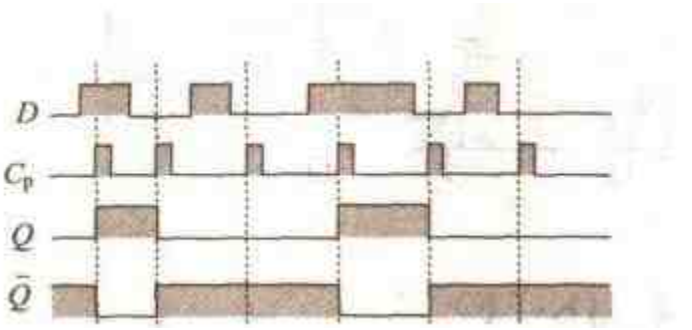
博士 没有 T-FF 专用集成电路，可使用其他类型触发器简单构成 T-FF。

D -FF

博士 D -FF 也称为延迟触发器。

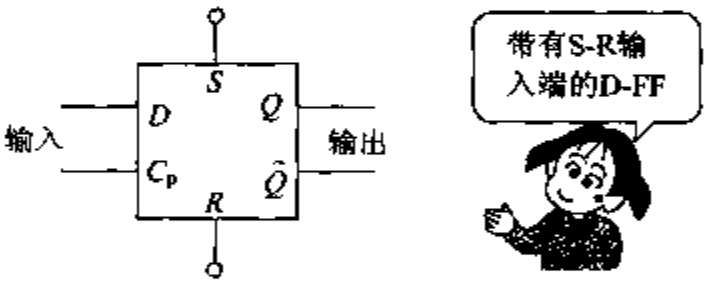
D -FF 仅限于有效时钟脉冲输入时，它的输出 Q 状态仅仅取决于时钟脉冲来到的瞬间输入端 D 的状态。用下列时序图确认上升沿触发有效型 D -FF 工作状态。





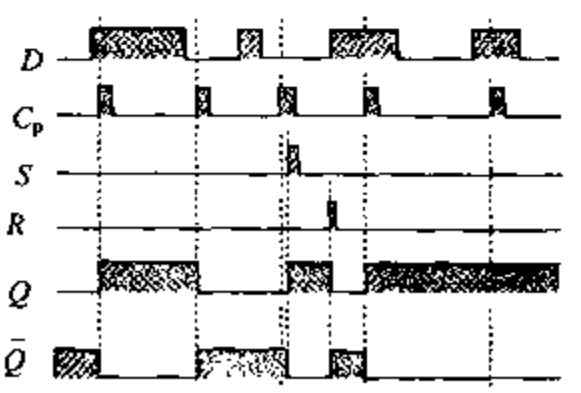
小明 在时钟，脉冲 C_P 从 0 到 1 的上升瞬间，获取输入 D 的状态，从而决定输出 Q 的状态。

博士 D -FF 也有带有复位端和置位端的延迟触发器。

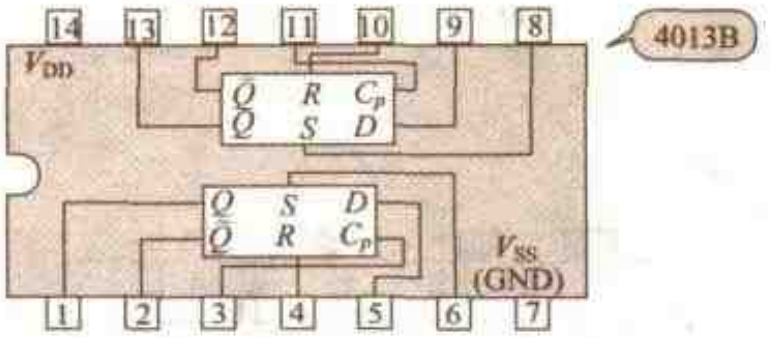


这种 D-FF 的输入 D 与 C_P 无关，在置位端加信号输出 Q 为 1，在复位端加信号输出 Q 为 0。

小丽 S，R 输入优先 D，C_P。

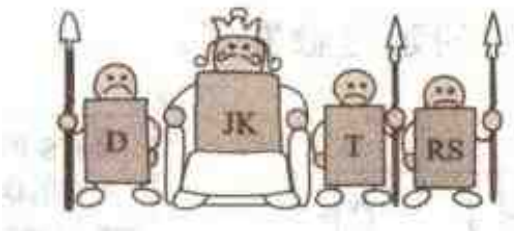


博士　带有 S, R 端的 D-FF 有 C-MOS 型 4013B 等。

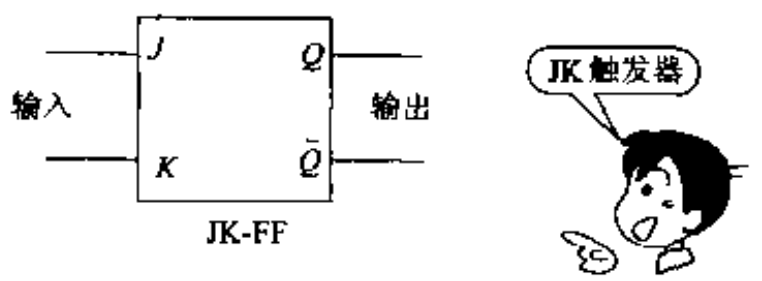


JK-FF

博士　JK-FF 是一种应用广泛的触发器，有触发器王之称。JK 是英文 King 和 Jack 的缩写。



通常的 RS-FF 使用不方便之点就是禁止输入端 R 与 S 同时输入为 1 的状态，改进这种缺点的就是 JK-FF。



小丽　那么，基本的工作状态与 RS-FF 相同吧。

博士　是这样。JK-FF 的 J 输入端相当于置位端，K 输入端相当于复位端。

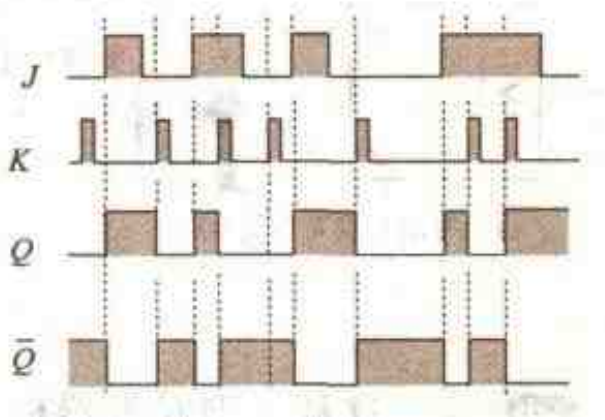
小明　J 与 K 同时输入 1 时，JK-FF 将如何动作呢？

博士　J 与 K 同时输入 1 时，则输出反转，即这时相当于 T-FF 工作状态。

J	K	Q	$\bar{Q}$	
0	0	Q	$\bar{Q}$	← 维持
0	1	0	1	← 复位
1	0	1	0	← 置位
1	1	$\bar{Q}$	Q	← 反转

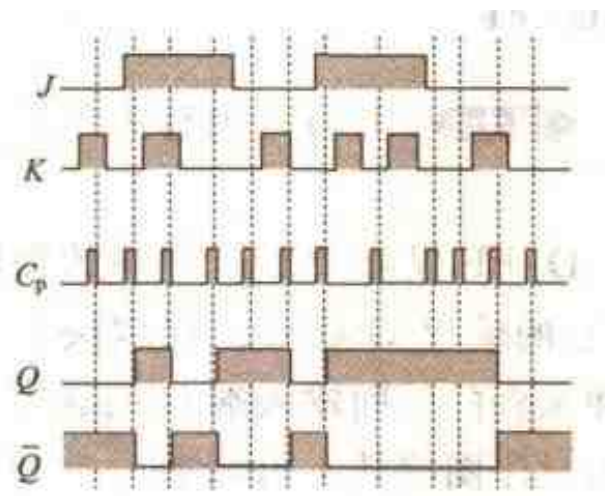
(JK-FF的特性表)

用时序图确认 JK-FF 的工作状态。



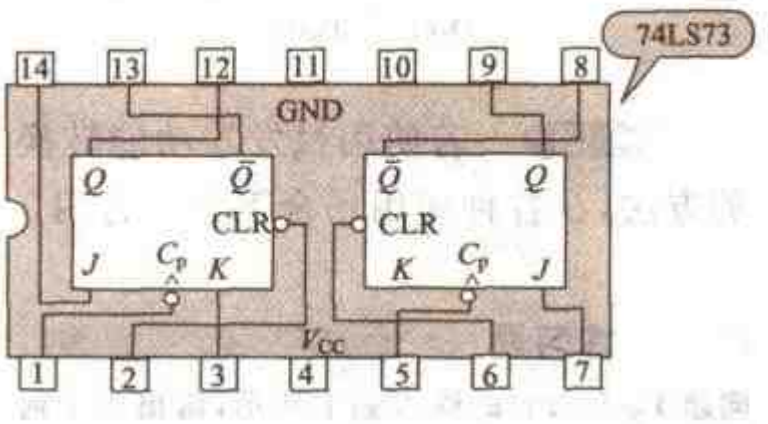
小丽　两个输入端同时为 1 也可以吧。

博士　是这样。下面确认带有时钟输入端的 JK-FF 的工作状态。

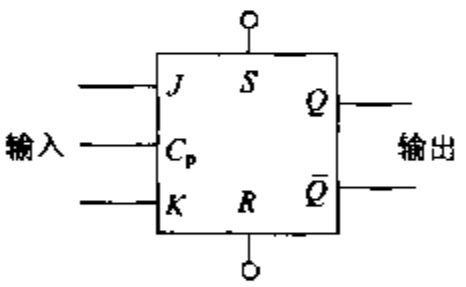


(C_p: 下降沿触发)

博士 JK-FF集成电路有带有清零(复位)端的触发器。若清零端输入有效信号,这期间时钟输入无效,输出Q变为0。若清零信号输入结束,维持到下一次工作的状态。实际的JK-FF集成电路有74LS73,现考察一下74LS73。

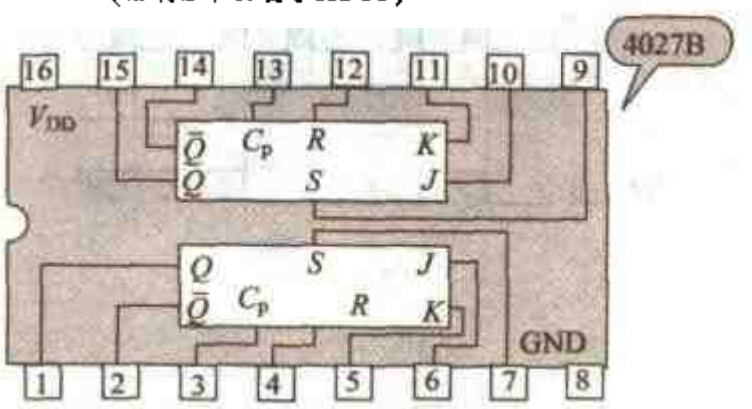


另外,市场上还有带有置位(预置),复位(清零)端的JK-FF集成电路出售。



(带有S和R端子JK-FF)

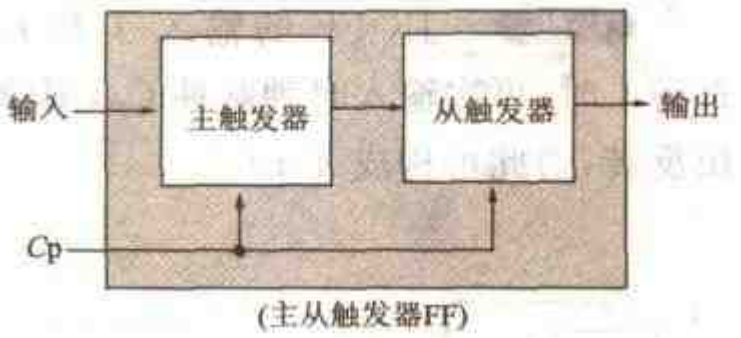




主从触发器

小明 在数据规格表中看到的触发器集成电路还有主从触发型,这是什么意思呢?

博士 主从的术语就意味有主人和从属者组成。主从触发器集成电路是由主触发器和从触发器二级构成的。



(主从触发器FF)

从触发器的动作受主触发器的控制,主从触发器是在输入脉冲下降(下降沿触发)时决定新的输出状态。

触发器的功能转换

博士 一种触发器也可以由其他类型触发器构成。

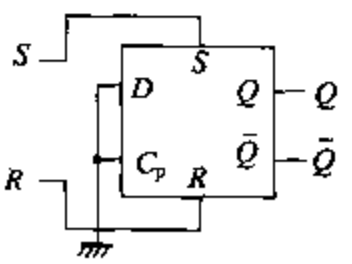
小明 例如,可用D-FF构成T-FF。

博士 这里介绍几个转换实例。

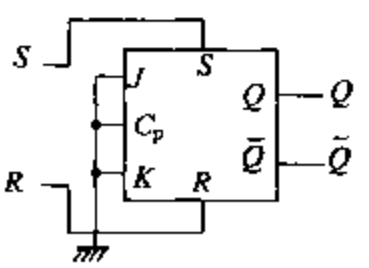
(1) RS-FF的构成

博士 用带有置位和复位端的触发器可简单构成RS-FF。

小明 未用端子接电源或地即可。



(D-FF ⇨ RS-FF)

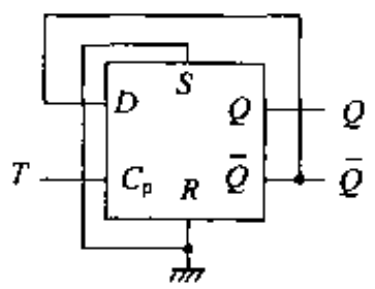


(JK-FF ⇨ RS-FF)

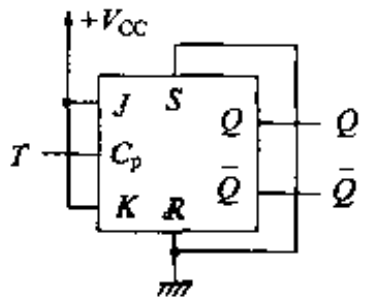
(2) T-FF 的构成

博士　若将 D-FF 输出 $\overline{Q}$ 反馈到输入 D，则输出 Q 反转，$\overline{Q}$ 变为下次输入 D，因此，再次输入时钟脉冲 C_p，则输出 Q 反转，工作状态与 T-FF 相同。

小明　JK-FF 的输入 J 和 K 都为 1 时，再次输入时钟脉冲 C_p，则输出反转，由此可构成 T-FF。



(D-FF ⇨T-FF)

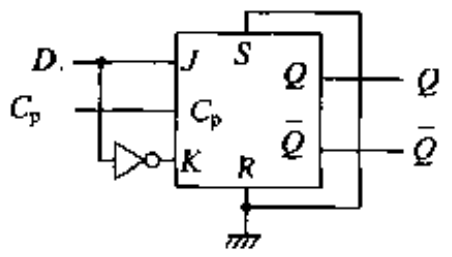


(JK-FF ⇨ T-FF)

(3) D-FF 的构成

博士　用J-FF 构成D-FF 的实例如下。

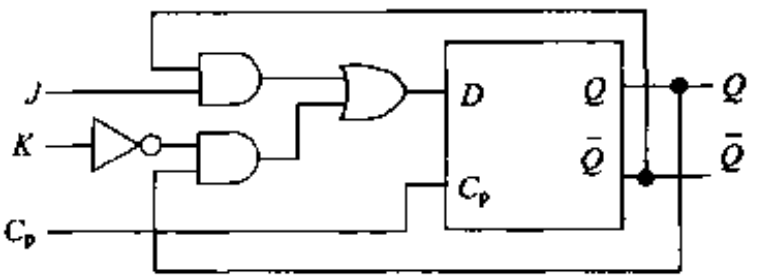
小丽　在输入 D 端输入 0 的情况下，$J=0$，$K=1$，时钟脉冲有效时，输出 Q 变为 0。在输入 D 端输入 1 的情况下，$J=1$，$K=0$，时钟脉冲有效时，输出 Q 变为 1。



(JK-FF ⇨D-FF)

(4) JK-FF 的构成

博士　用 D -FF 构成 JK-FF 的实例如下。

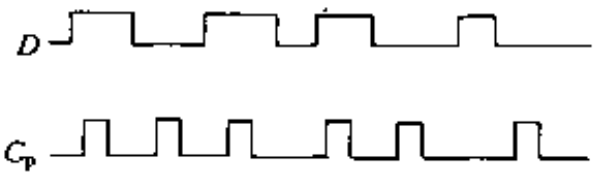


(D-FF ⇨ JK-FF)

小明　若使用触发器功能转换的方法，在各种应用场合下非常有用。

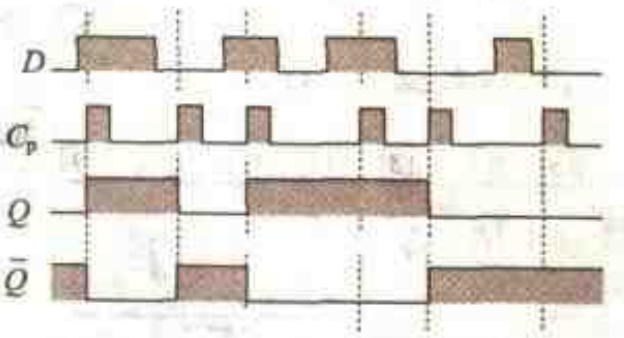
练习题

问题 1　D -FF 的输入如下所示，输出将如何呢？



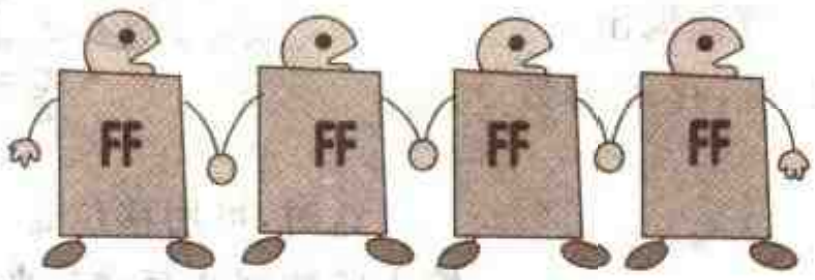
(C_p: 上升沿触发)

解答



3 移位寄存器

主要学习存储器电路



寄存器

博士　存储数据的电路称为存储器，暂存数据而规模小的存储器称为寄存器。

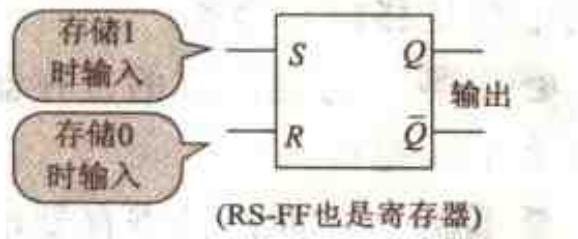
小明　寄存器像一种笔记本式账本。



博士　在数字电路中寄存器非常重要，它多用于计算机内部电路。

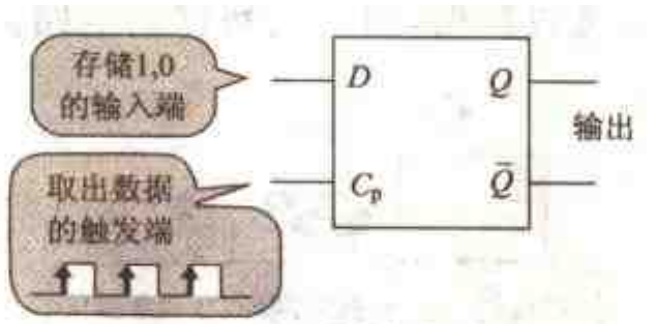
博士　很多触发器作为寄存器使用吧。

博士　是这样。例如，RS-FF的置位端可以当作存储 1 时输入端，复位端可以当作存储 0 时输入端。



(RS-FF也是寄存器)

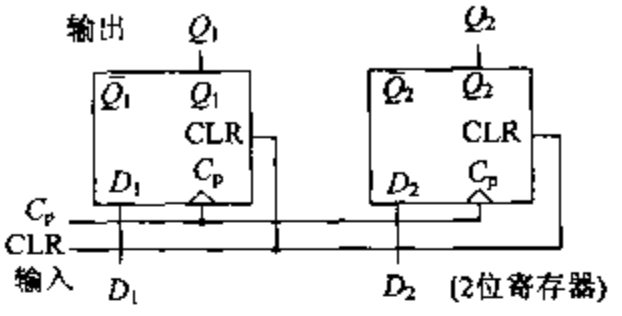
另外，D-FF 使用 D 端子输入数据 1，0。C_P 端变成存放数据的触发端。



(D-FF也是寄存器)

小明　用 1 个触发器构成 1 位的寄存器，因此，将需要数量的触发器级联就可构成多位寄存器。

博士　按照小明的说法，试将两个 D-FF 级联就可以构成 2 位寄存器。



用时钟的上升沿触发有效，存放 D_1 和 D_2 二位数据，作为存储输出。

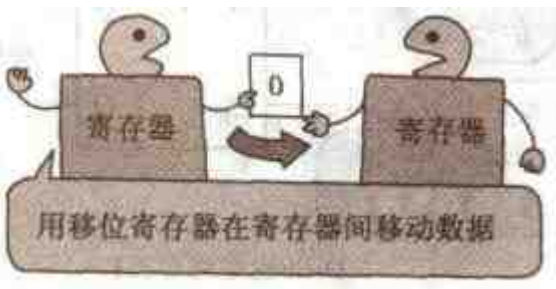
若清零端再输入信号，存入的数据一起被清除。

移位寄存器

博士 将寄存器级联并处理数据的电路是移位寄存器。

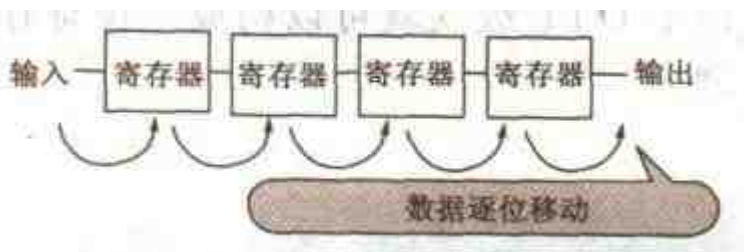
小丽 与前面讲的寄存器电路有什么不同呢？

博士 前面讲的寄存器电路是触发级联用于存储数据的电路。然而，级联的触发器彼此之间存取数据。而移位寄存器是可以从相邻级联触发器边接收数据，边移动数据的电路。



小明 移位寄存器中移位是什么意思？

博士 用移位寄存器在级联的寄存器间将数据逐位移动。



小丽 什么情况下使用移位寄存器呢？

小丽 例如，要存储逐位输入的4个数据。



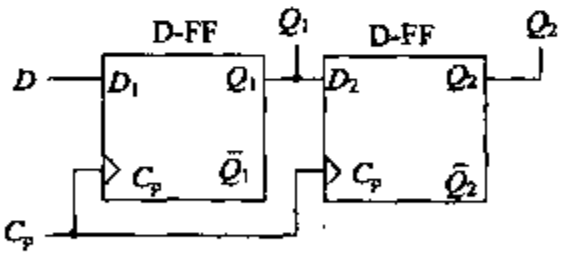
这时，可用移位寄存器，逐位移动输入的数据并存储起来。



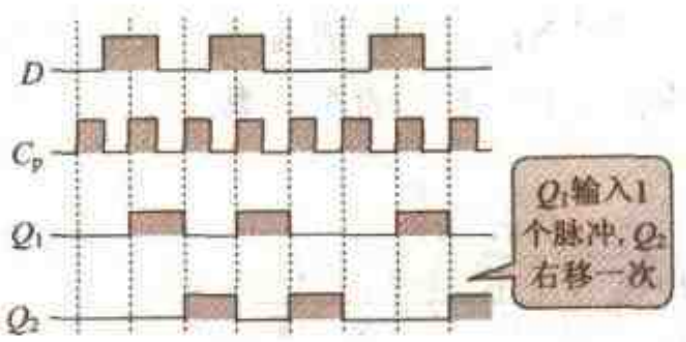
寄存器结构

小明 实际中如何进行移位呢？

博士 试考虑用两个 D-FF 连接的电路。这种接法称为级联方式。



在时钟脉冲 C_P 的上升瞬间(上升沿触发)，在 D_1 中接收来自输入 D 的数据，并在 Q_1 端输出。然后，若下次输入 C_P，D_1 接收来自新的 D 的数据。同时在 D_2 中接收 Q_1 输出的以前数据，并在 Q_2 端输出。

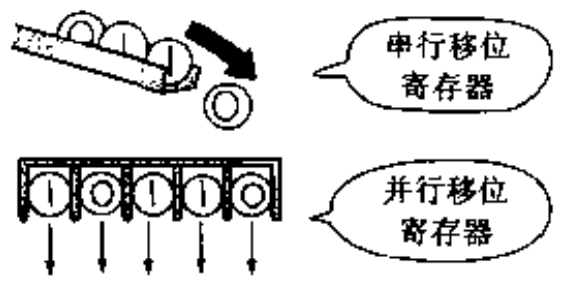


小丽 每来 1 个时钟脉冲，数据从左寄存器向右寄存器移动 1 位。

小明 若将需要的数据数目的寄存器级联，就可以进行多位数据移位并存储。

移位寄存器的种类

博士 数据串行排列称为串行移位寄存器，而数据并行排列称为并行移位寄存器。



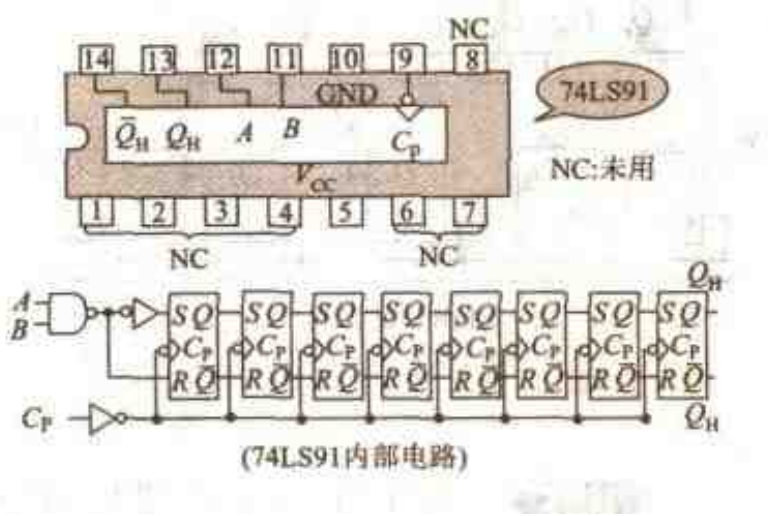
移位寄存器按输入数据串行、并行处理方式分为以下几种。

(1) 串入-串出移位寄存器

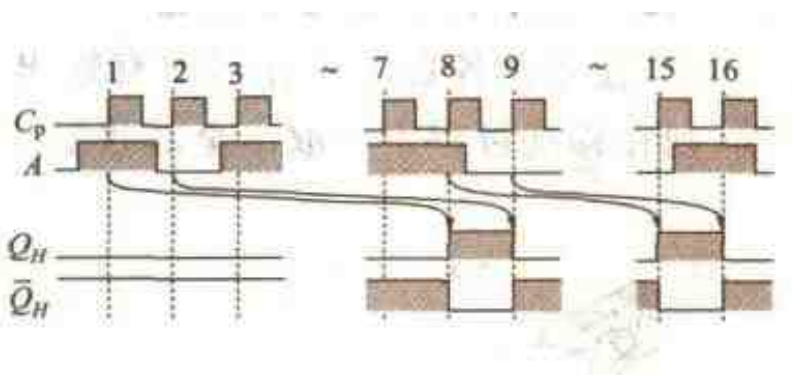
这是在时钟脉冲作用下，串入数据逐位被寄存器接收，并在寄存器之间进行移位，最后串行原样取出数据的移位寄存器。



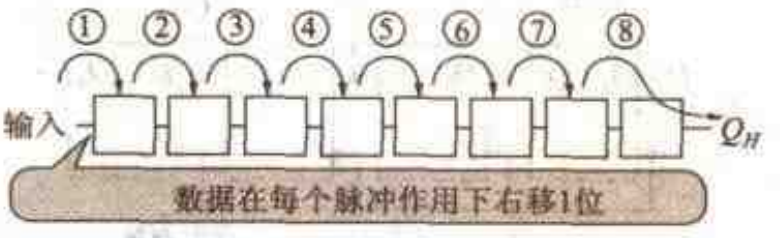
74LS91 是 8 位串入-串出移位寄存器。电路是由 8 个带有时钟输入端的 RS-FF 并排构成的。



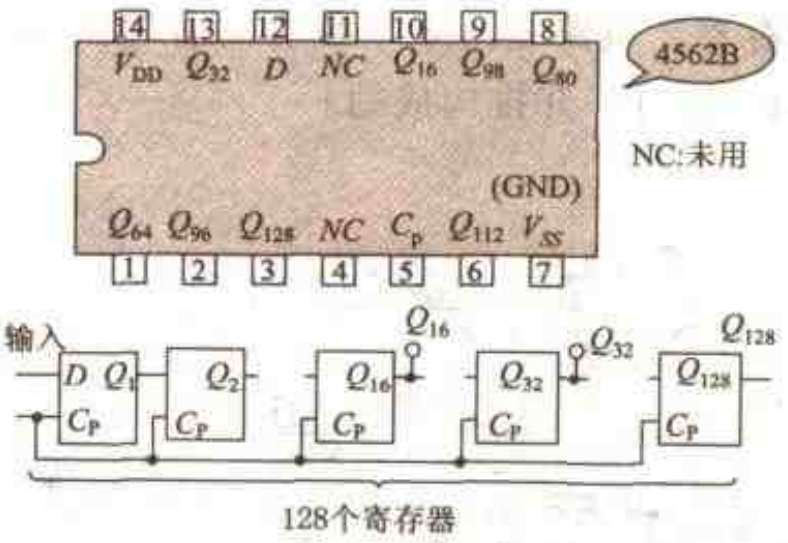
若输入 B 固定为 1，时钟脉冲触发时，接收输入 A 的数据。



小丽 在第 8 个时钟脉冲输入时，开始在 Q_H 输出最初的输入数据。



博士 128 位串入-串出移位寄存器有 C-MOS 型 4562B。

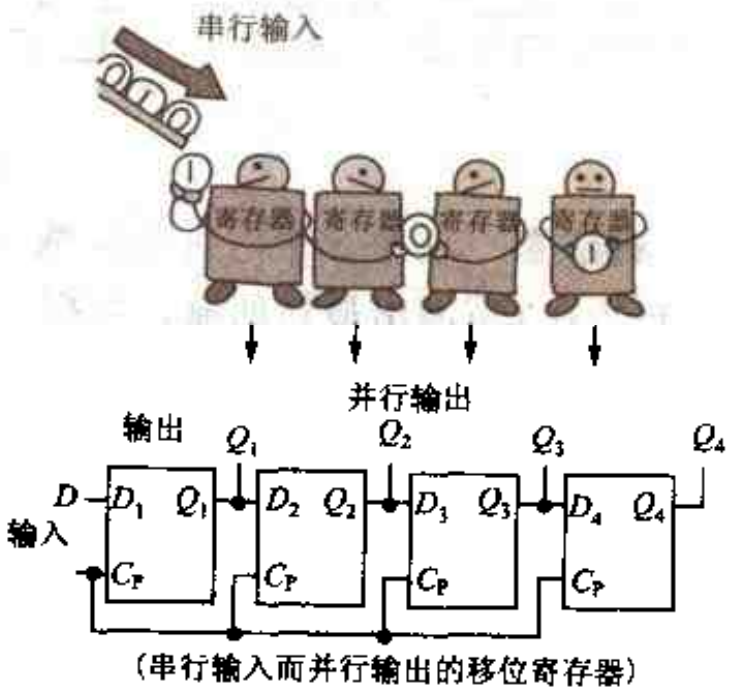


小明　有128个寄存器！特别大吧。

博士　这个集成电路在移动过程中可在8处取出移位数据。

(2) 串入-并出移位寄存器

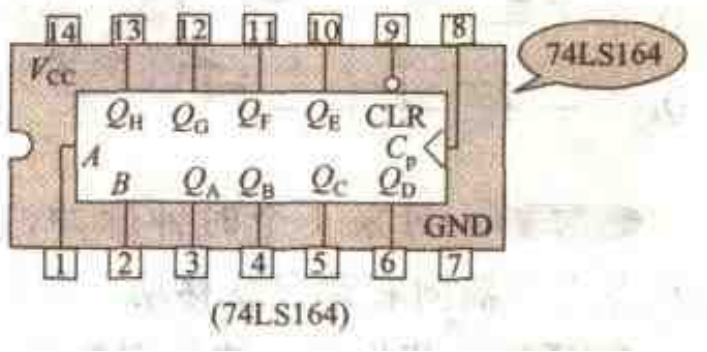
若在并排各自的寄存器中有输出端，则在移动过程中可取出全部数据。

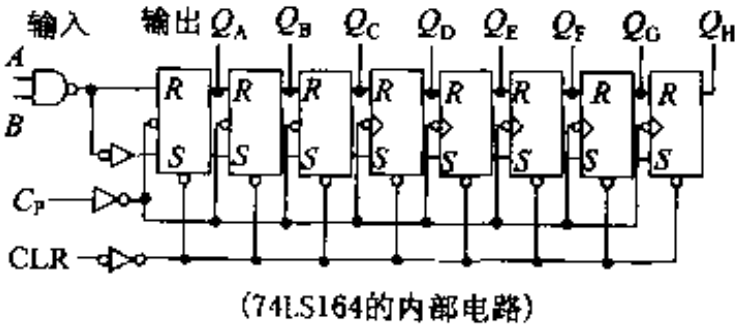


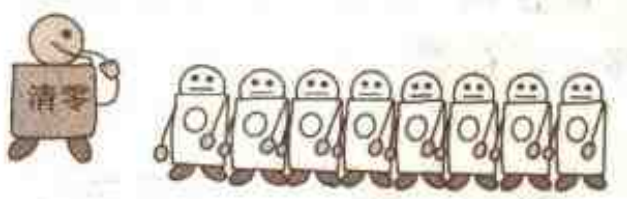
小丽　也就是说，串行输入的数据可以并行输出。

博士　74LS164是8位串行输入而并行输出的移位寄存器。

74LS164带有清零端，因此，也可以同时清除接收的全部数据。



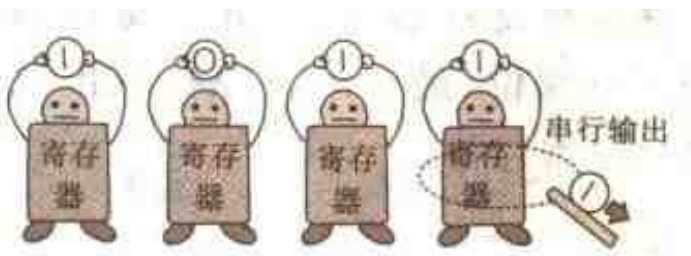




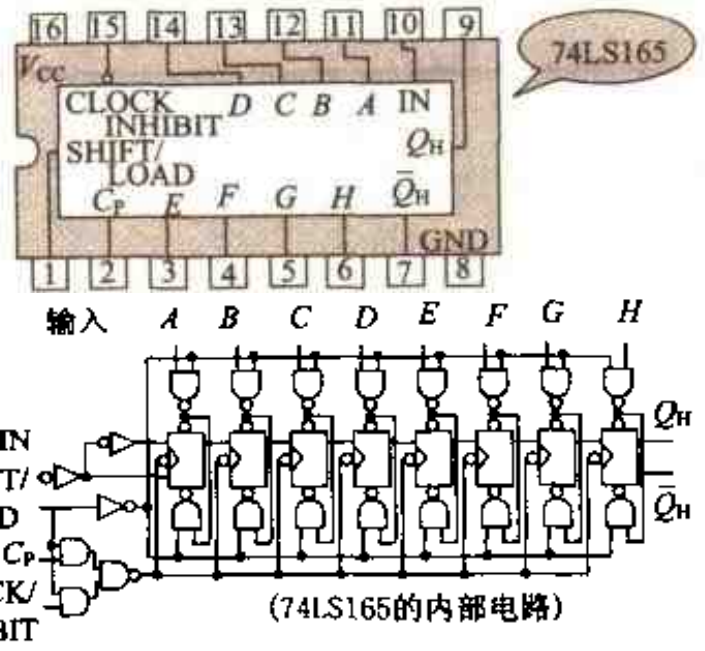
小明　若用任意输出端 Q_A～Q_H，也可以从这些端子串行取出数据。

(3) 并入-串出移位寄存器

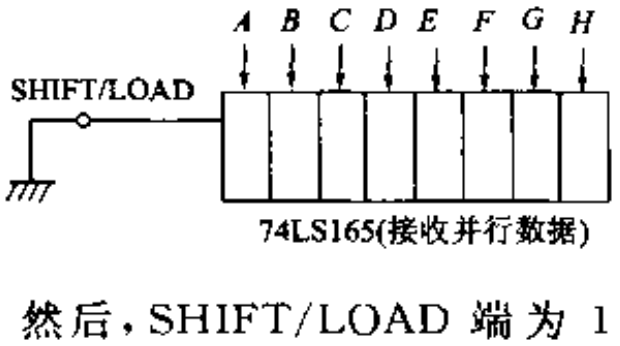
博士　这是并行接收数据，根据移位情况逐位串行输出数据的移位寄存器。



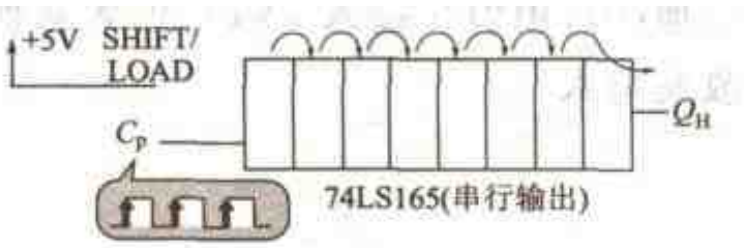
74LS165是8位并入-串出的移位寄存器。



若 SHIFT/LOAD 端先为 0，在各寄存器中可接收 8 位并行数据。



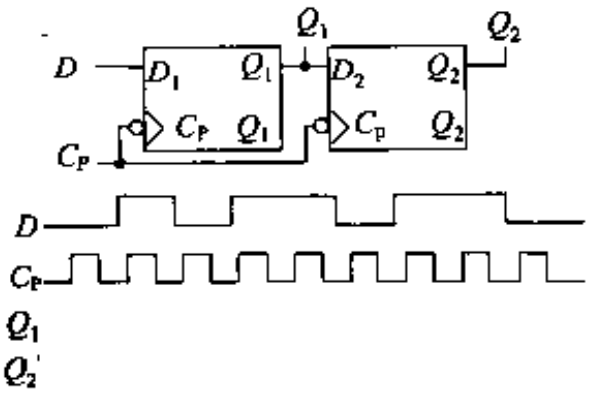
然后，SHIFT/LOAD 端为 1，若 CLOCK INHIBIT(时钟脉冲有效)端为 0，在每个时钟脉冲上升沿作用下接收的数据右移 1 位，并在 Q_H 端输出。



练习题

问题 1 74LS173 是如何工作的集成电路，试用规格表进行分析。

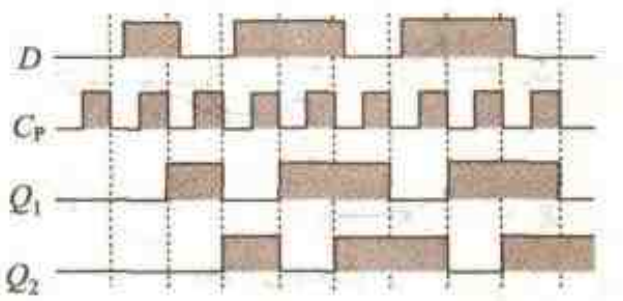
问题 2 请完成下列移位寄存器的时序图。



解答

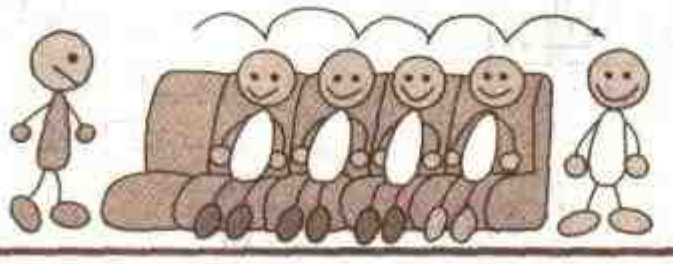
1. 这是 4 位寄存器，带有与输出隔离的三态功能。

2.



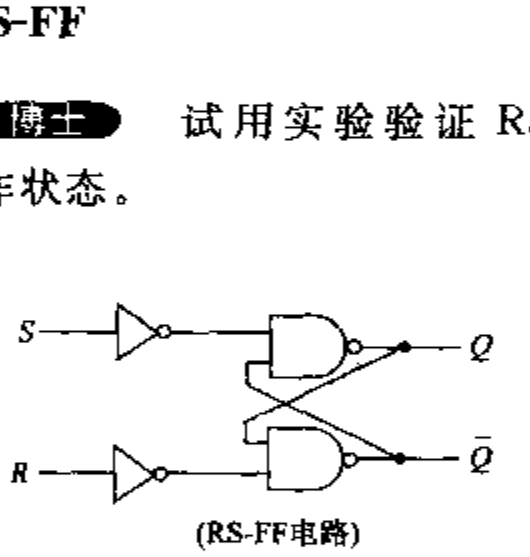
4 实　践

试用实验验证寄存器和移位寄存器的工作状态



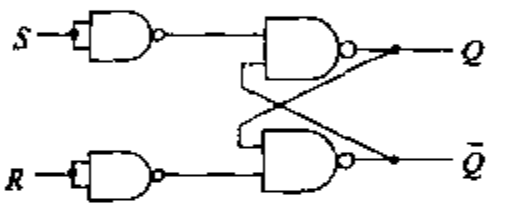
RS-FF

博士　试用实验验证 RS-FF 的工作状态。



(RS-FF电路)

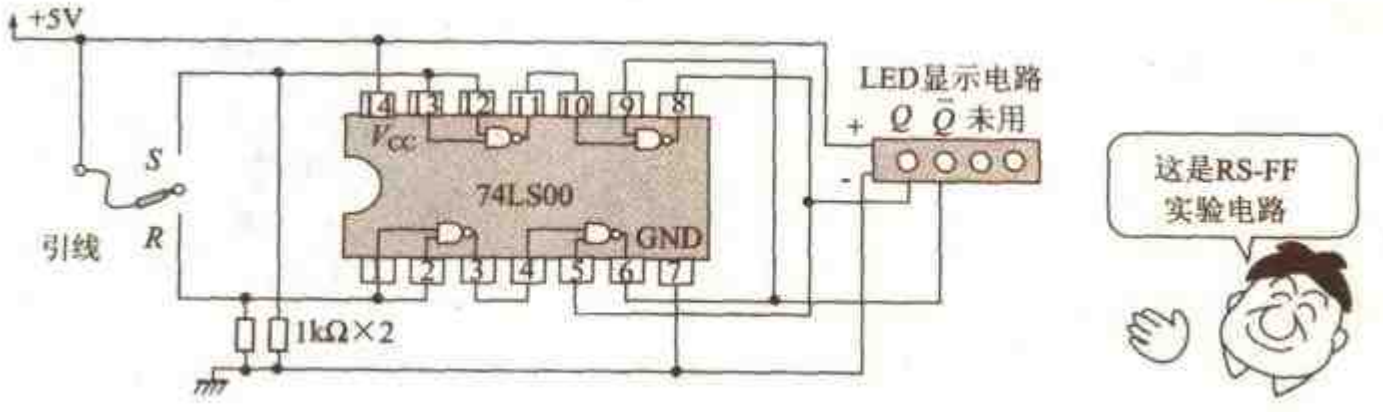
小明　上述电路仅是由与非门构成。



(与非门构成RS-FF)

博士　实验电路采用与非门 74LS00 组成。

置位端和复位端都通过下拉电阻接地(0),用引线接入 5V(1)电源从而改变输入。



实验步骤

① 复位端输入 1。这时，LED 灭，输出 Q。

② 置位端输入 1。这时，输出 Q 为 1（LED 亮），输出 Q 为 0（LED 灭）。

③ 置位端和复位端都为 0 时（这时电路两端都为无输入状态），输出状态维持不变。

④ 若复位端再输入 1，输出 Q 变为 0（LED 灭）。

⑤ 试根据实验结果列出特性表。

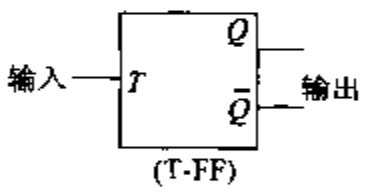
S	R	Q	$\bar{Q}$
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		



小丽 RS-FF 禁止置位端和复位端同时输入 1 的状态。

T-FF

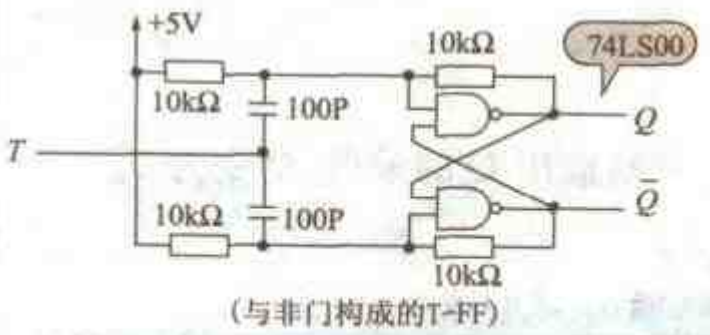
博士 用实验验证 T-FF 的工作状态，T-FF 工作状态记住了吗？



(T-FF)

小明 记住了，输入 T 每输入一个时钟脉冲，输出 Q 反转一次。

博士 是这样。T-FF 可以用其他触发器构成，但这里用与非门电路构成。该电路在时钟脉冲下降沿触发有效。

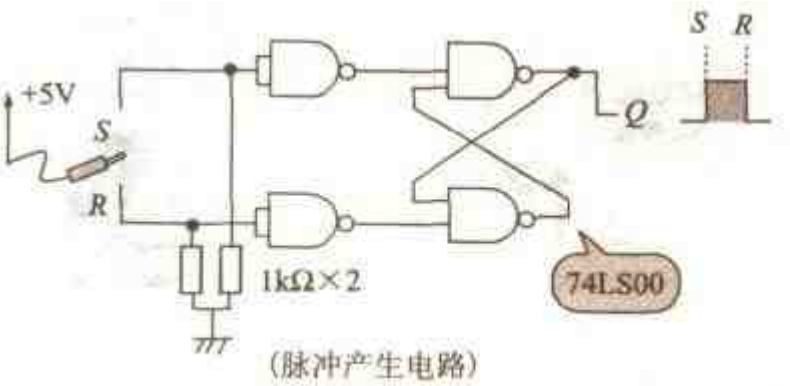


(与非门构成的T-FF)

小丽 时钟脉冲如何产生呢？

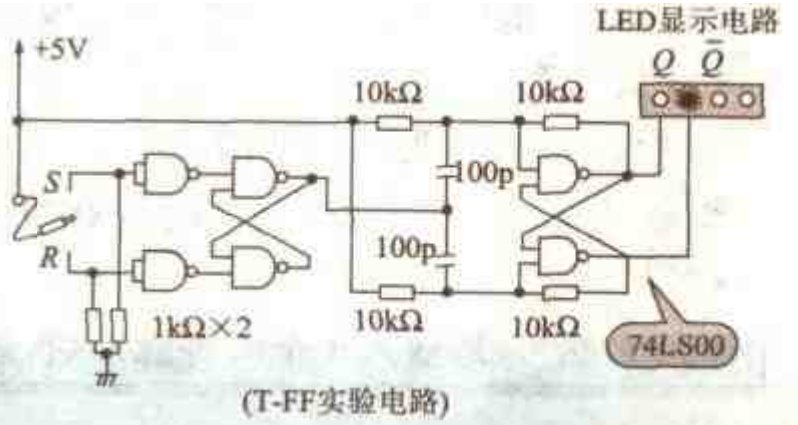
小明 若用机械开关产生脉冲，则由于抖动的影响，不能准确地获得一个脉冲。

博士 用手动当作开关，并利用 RS-FF 产生无抖动的脉冲。在 RS-FF 实验电路中，用引线将置位端接到 1 以后，若复位端为 1，就输出一个无抖动的脉冲。



(脉冲产生电路)

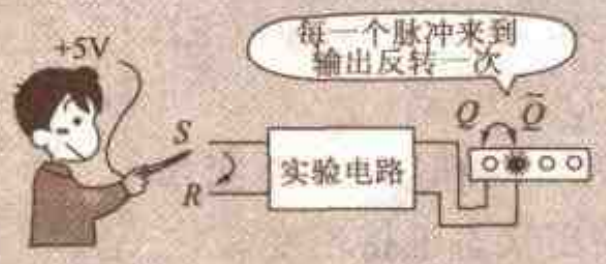
那么，制作电路并进行实验。



(T-FF实验电路)

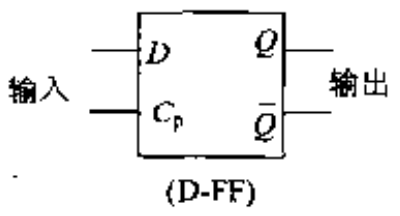
实验步骤

若置位端和复位端依次接到 1，则输出 Q 和 $\overline{Q}$ 反转，用实验进行验证。



D -FF

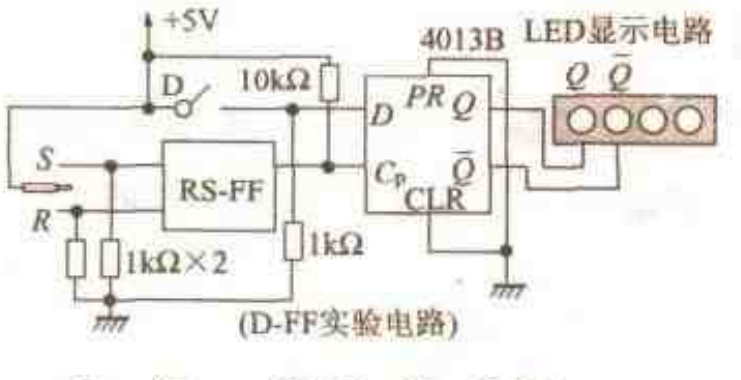
博士　试用实验验证 D-FF 的工作状态。



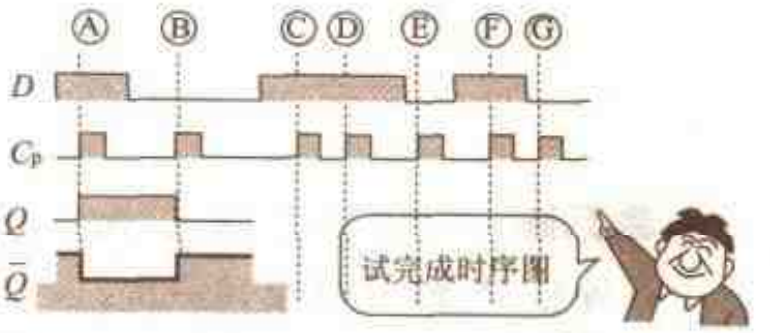
小丽　D -FF 是在时钟脉冲作用下接收输入 D 数据。

博士　是这样。使用 C-MOS 型 4013B 进行实验。对于 4013B，时钟脉冲为 0 时，读取输入 D 数据，时钟脉冲从 0 上升到 1 时输出读取的数据。

产生输入时钟脉冲的电路与 T-FF 实验一样使用 RS-FF。







实验步骤

输入信号，根据时序图观察输出 Q 波形。

- A 的状态

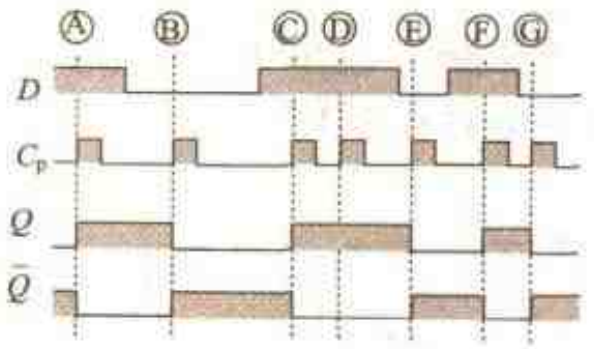
① 验证输出 Q 为 0 电平的波形。

② 输入 D 为 1，每输入 1 个时钟脉冲后，观察输出 Q 的波形，Q 变为 1。

- B 的状态

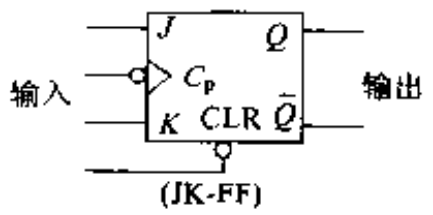
输入 D 为 0，每输入 1 个时钟脉冲后，观察输出 Q 的波形，Q 变为 0。

小明 输入信号 A 到 G 时，观察输出 Q 与 $\overline{Q}$ 的波形如下所示。用 LED 显示电路观察结果也非常有效。



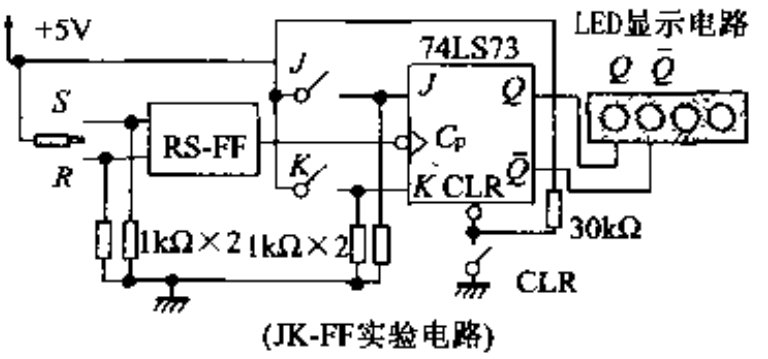
JK-FF

博士 现用实验验证 JK-FF 的工作状态。

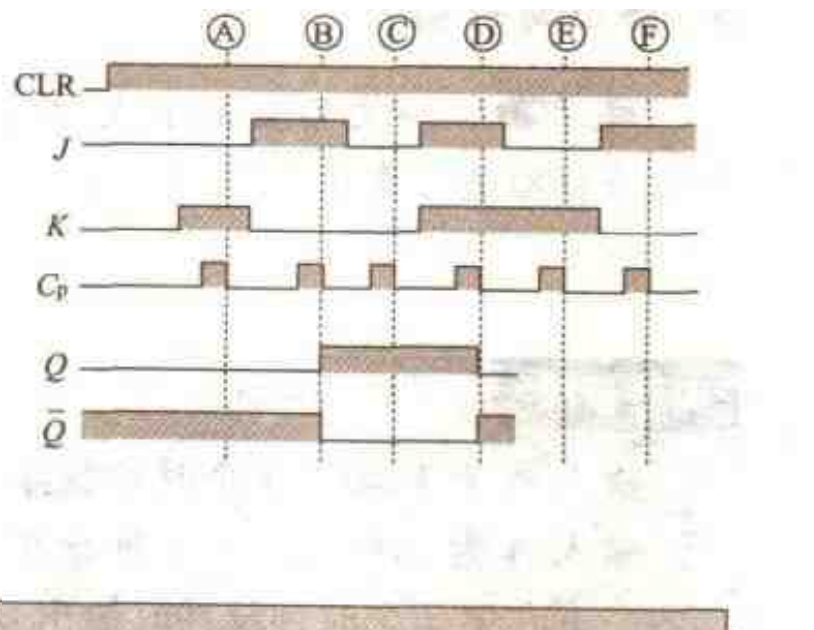


小丽 JK-FF 解决了 RS-FF 的置位端和复位端不能同时为 1 的问题。

博士 是这样。用 TTL 的 74LS73 制作实验电路。



74LS73 是时钟脉冲下降沿触发有效，利用 RS-FF 产生输入时钟脉冲。



实验步骤

根据时序图输入信号，观察输出波形。

为慎重起见，先在清零端输入 0，对触发器清零，验证输出 Q 为 0，输出 $\overline{Q}$ 为 1 的状态。

- A 的状态

J 输入 0，K 输入 1，输入 1 个时钟脉冲，输出 Q 为 0，输出 $\overline{Q}$ 为 1 的状态。

- B 的状态

J 输入 1，K 输入 0，输入 1 个时钟脉冲，这时输出 Q 为 1，输出 $\overline{Q}$ 为 0 的状态。

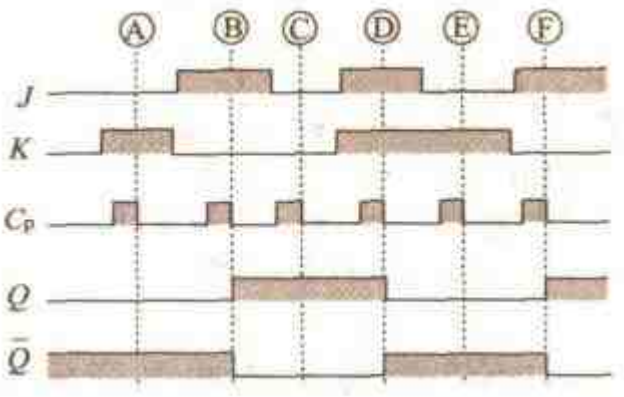
- C 的状态

J 输入 0，K 也输入 0(这时，J 与 K 两端处于什么都不接的状态)，输入 1 个时钟脉冲，这时，输出 Q 和 $\overline{Q}$ 都维持以前的状态。

- D 的状态

J 输入 1，K 也输入 1，输入 1 个时钟脉冲，这时，输出 Q 与 $\overline{Q}$ 反转。

小明　实验结果的时序图如下所示。



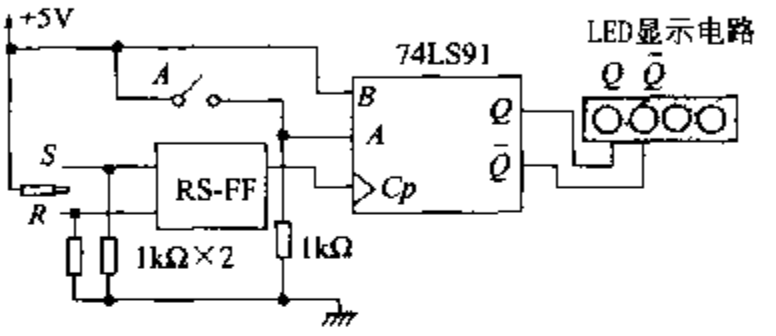
移位寄存器

博士　用实验验证串入-串出移位寄存器的工作状态。



(串入-串出移位寄存器)

小丽　8 位串入-串出移位寄存器集成电路有 74LS91。



(串入-串出移位寄存器实验电路)

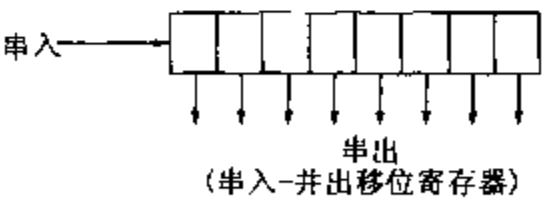
博士　74LS91 是时钟脉冲上升沿触发有效。

实验步骤

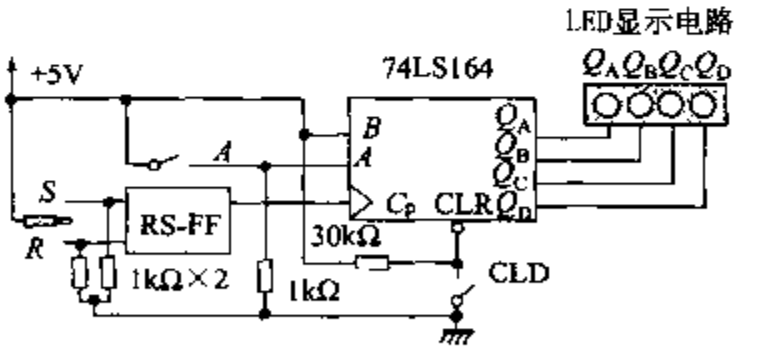
① 输入 A 为 1，输入 1 个时钟脉冲，这时，输出 Q 变为 0。

② 输入 A 为 0，输入 7 个时钟脉冲(加上①共 8 个时钟脉冲)。用实验验证一下在第 7 个时钟脉冲时输出 Q 为 1。

博士　其次，用实验验证串入-并出移位寄存器的工作状态。



(串入-并出移位寄存器)



(串入-并出移位寄存器实验电路)

集成电路使用时钟脉冲上升沿触发有效的 TTL 74LS164。

实验步骤

① 为慎重起见，在清零端输入 0，对集成触发器清零。

② 输入 A 为 1，输入 1 个时钟脉冲，这时，输出 Q_A 为 1。

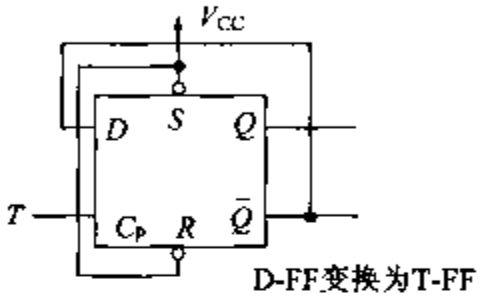
③ 输入 A 为 0，每输入 1 个时钟脉冲，Q_A 中数据移位 $Q_B \rightarrow Q_C \rightarrow Q_D$。

练习题

问题 1 将 D-FF 变换为 T-FF，用实验验证其工作状态。

解答

用 74LS74。

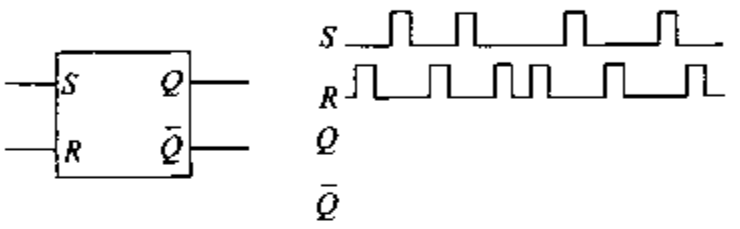


D-FF变换为T-FF

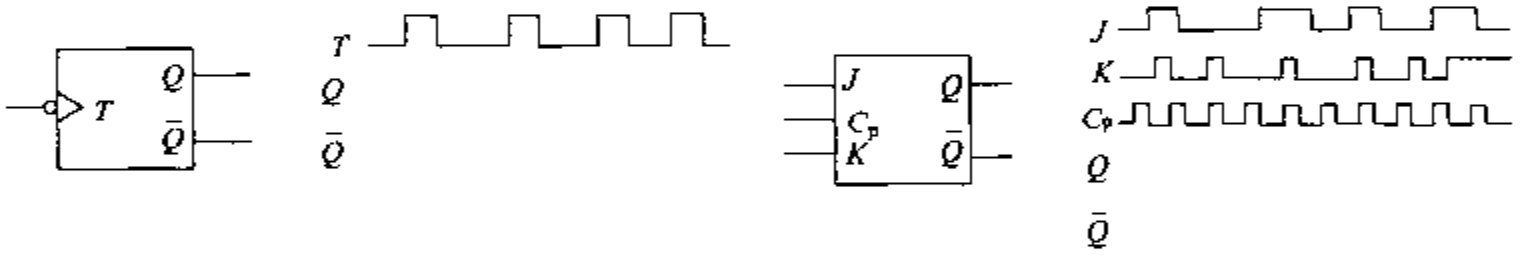
Q 挑战题

(解答省略，参照本章内容)

1. 试说明 RS-FF 工作情况。 (参见 p. 140)
2. 试考察用 RS-FF 构成防止抖动的电路。 (参见 p. 142)
3. 对于 RS-FF，试完成下列时序图。 (参见答案)
4. 试说明置位优先 RS FF 工作情况。 (参见 p. 144)
5. 试说明 T FF 工作情况。 (参见 p. 144)
6. 对于 T-FF，试完成下列时序图。 (参见答案)



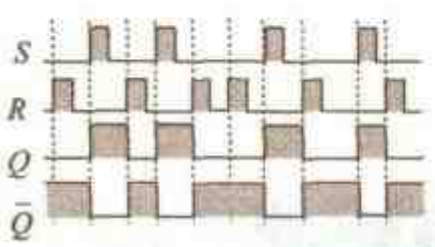
7. 试说明 D-FF 工作情况。 (参见 p. 145)
8. 试说明 JK-FF 工作情况。 (参见 p. 146)
9. 对于 JK-FF，试完成下列时序图。 (参见答案)



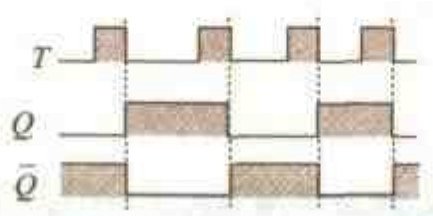
10. 试用 JK-FF 构成 RS-FF 电路。 (参见 p. 148)
11. 试用 JK FF 构成 T-FF 电路。 (参见 p. 148)
12. 试用 JK-FF 构成 D-FF 电路。 (参见 p. 148)
13. 何谓寄存器。 (参见 p. 149)
14. 何谓移位寄存器。 (参见 p. 150)

A 答 案

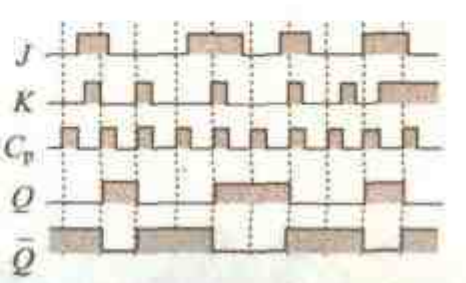
3



6



9



第 6 章

计算器电路



博士



小明



小丽

本章学习目的

对输入脉冲进行计数的电路称为计数器电路。计数器电路是由触发器级联构成的。若按计数器工作方式分有异步式和同步式。在同步计数器中，当计数脉冲输入时所有的触发器是同时反转的,而在异步计数器中,各级触发器则不是同时反转的。

至今学习的数字电路基本上是采用二进制数,因此,计数器也是以二进制计数器作为基础。然而,在电路上采取措施,也能设计除二进制以外任意进制的计数器。

本章开始学习二进制计数器的结构,其后,还逐步学习2^n进制和n进制计数器。如果牢靠掌握各项学习内容,那么,就能方便设计任意的n进制计数器。

另外,还学习根据电路输入数据的不同,能进行任意进制计数的万能计数器,即可编程计数器。

1 计数器结构

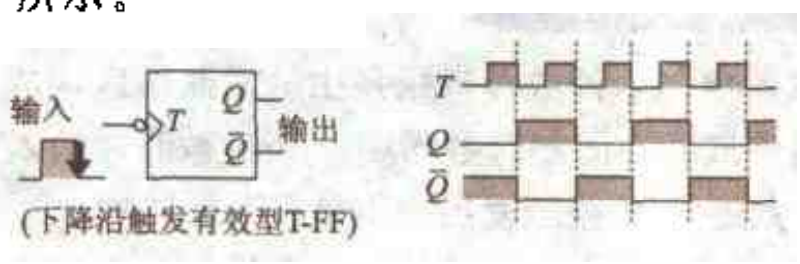
主要学习作为基础的2^n进制计数器



二进制计数器

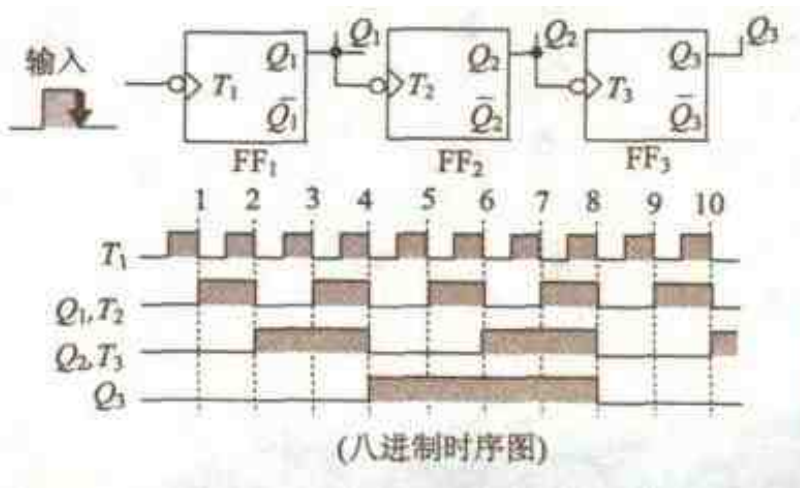
博士　试考察二进制计数器电路。还记得 T-FF 的工作状态吗?

小明　T-FF 的工作状态如下所示。



博士　试观察 T-FF 的输入输出间关系。

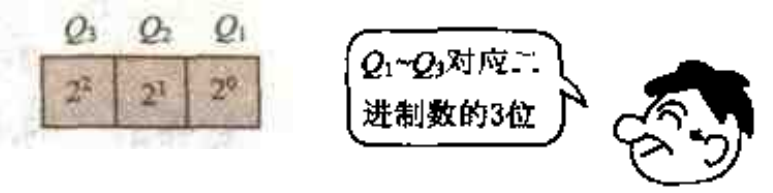
小雨　每输入 2 个脉冲时,输出 1 个脉冲。



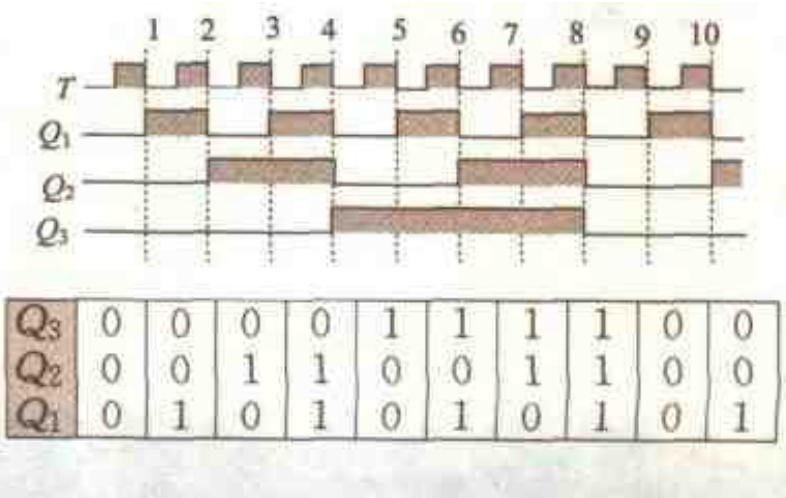
博士　再看 3 个 T-FF 级联时的工作情况。

小明　由时序图可知,每 1 级 T-FF 将 2 个脉冲变为 1 个脉冲。

博士　是这样。每输入几个脉冲时输出 1 个脉冲称为分频,这里每 1 个 T-FF 进行 2 分频,那么,输出 Q_1、Q_2、Q_3 对应于各二进制数的第 2^0,2^1,2^2 位。



用数字表示时序图如下。

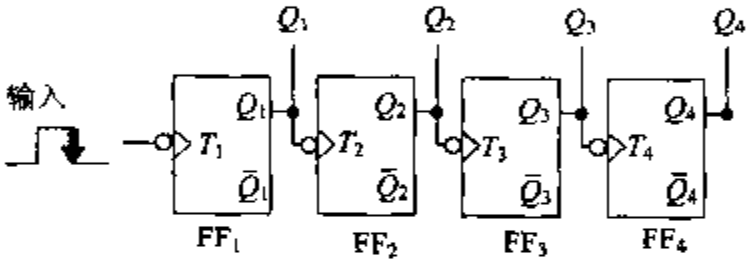


Q_3	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Q_2	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
Q_1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1

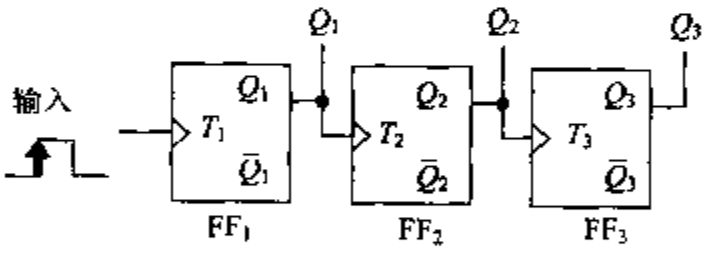
小丽 该电路是在输入脉冲触发下，对二进制数 000 到 111 进行计数。

博士 是这样。这就是二进制计数器的工作原理。该电路中，输出到 111 时返回到最初的 000，但若增加 T-FF 级联数目，计数的范围非常广。例如，若 4 个 T-FF 级联时，可以对从 0 到 2^4-1 的二进制数进行计数。

对于上述电路，使用上升沿触发有效型 T-FF，将会如何呢？

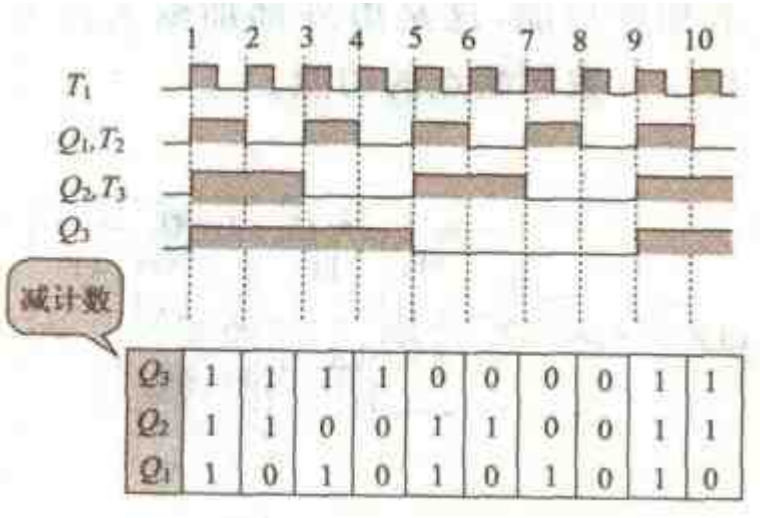


(0000~1111计数器)



(使用上升沿触发有效型T-FF)

小明 试画出时序图。

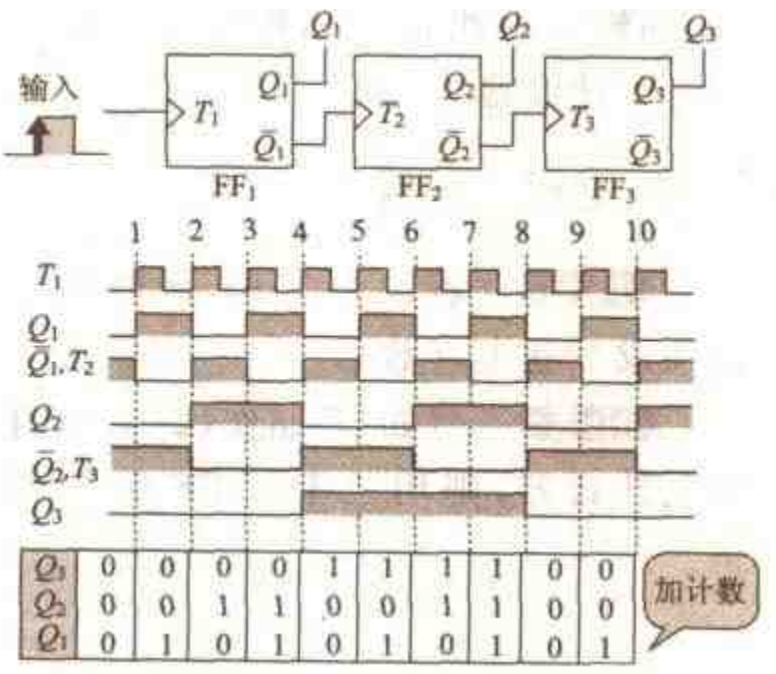


小丽 与上述电路相反，从 111 到 000 进行减计数。

博士 按顺序进行减计数的称为减法计数器。这类计数器有减法计数器和加法计数器。

小丽 使用上升沿触发有效型 T-FF 可以构成加法计数器吗？

小明 使用输出 Q 的电路构成即可。



计数器的名称

博士 这里研究一下计数器的名称问题。几个触发器级联时，所有触发器开始输出都为 0。此后，对时钟脉冲进行计数，若计数到第 n 个时钟脉冲时，触发器的输出都返回到 0，这种计数器称为 n 进制计数器。

小明 例如，3 个 T-FF 级联计数器的输出如表中所示。

脉冲	Q_3	Q_2	Q_1
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1

脉冲	Q_3	Q_2	Q_1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	0
9	0	0	1
10	0	1	0
⋮		⋮	

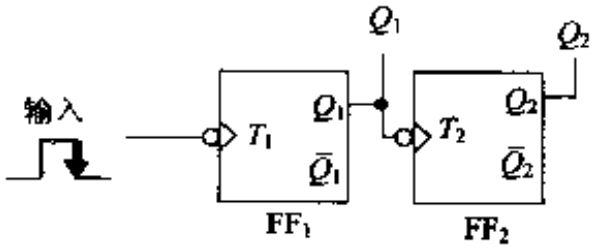
（八进制计数器功能表）

用这个电路若计数到第八个脉冲时，则输出返回到 000，即这个电路为八进制计数器。

2^n 进制计数器

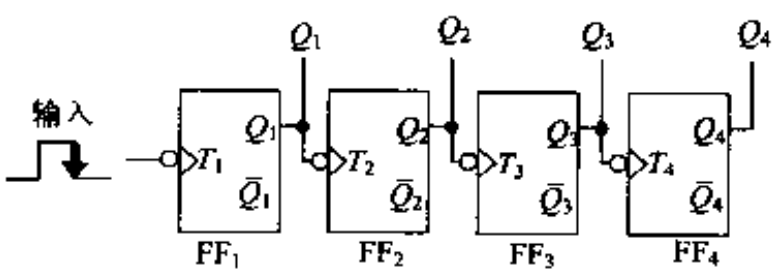
博士 若 n 个 T-FF 级联就可以构成 2^n 进制计数器。

小丽 例如，若制作（$2^2=4$）四进制计数器，则用二个 T-FF 级联即可。



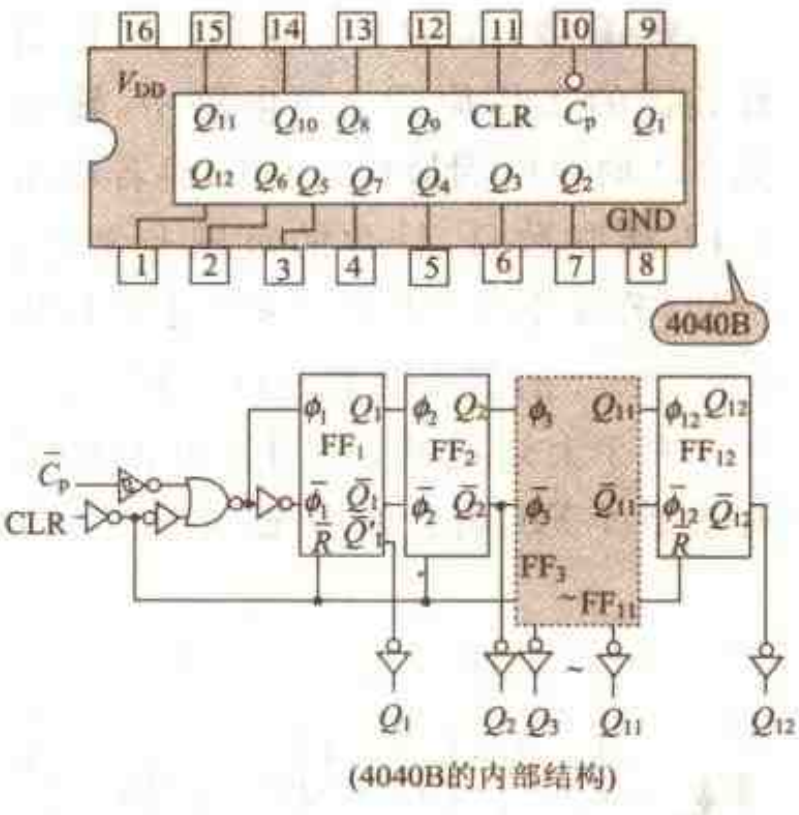
（四进制加法计数器）

小明 另外，可用四个 T-FF 级联构成（$2^4=16$）十六进制计数器。



（十六进制加法计数器）

博士 考察一下 2^{12} 进制计数器集成电路 4040B。

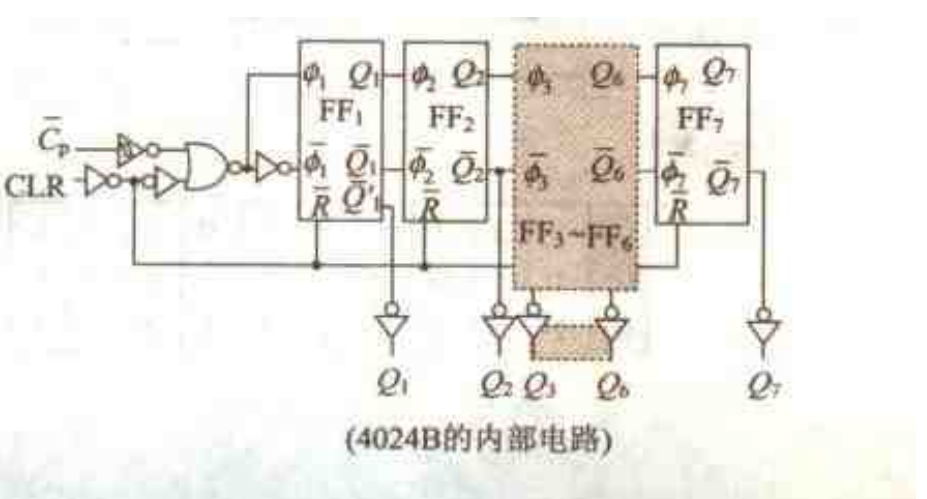


（4040B的内部结构）

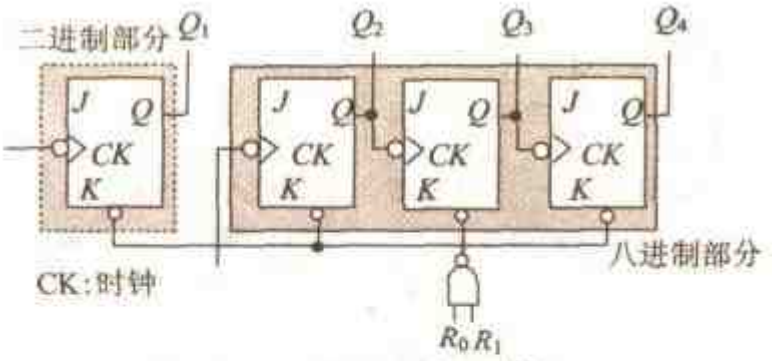
4040B 是时钟脉冲下降沿触发有效的集成电路。电路中所有触发器都有清零端 CLR。

小丽 用 4040B 可构成从 0 计数到 $2^{12}-1$ 的计数器。

博士 除此之外，市场上出售的用于 2^n 进制计数器集成电路有 C-MOS 的 4024B（7 位）与 TTL 的 74LS93（4 位）等。也有的集成电路带有预置功能，这是由外部加输入信号设定计数起始点的功能。



（4024B的内部电路）



(74LS93内部结构)



(预置功能)

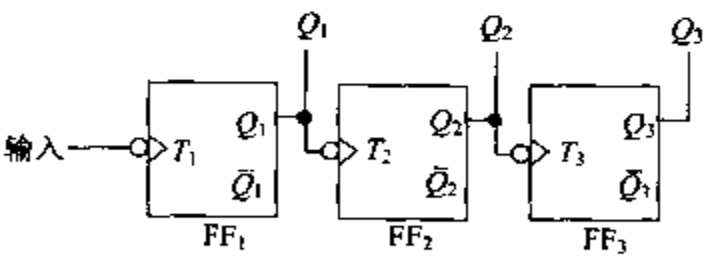
另外,还有的集成电路具有加计数和减计数的可逆计数功能。



(加减计数功能)

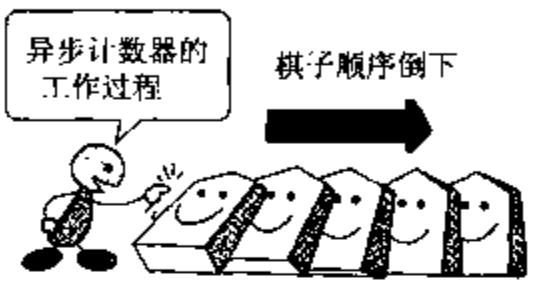
同步计数器和异步计数器

博士 试从时间上看 2^n 进制计数器的工作状态。



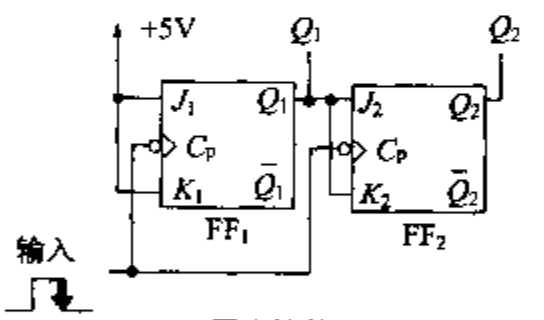
(异步计数器)

对于上述电路工作过程是这样的,即先对 T_1 输入一个时钟脉冲,Q_1 变为 1,Q_1 的输出 1 再作为 T_2 的输入等等……,每个触发器都等到前 1 个反转后再反转,这样的反转一直顺序进行下去。也就是说,从第 1 级触发器接收时钟脉冲开始,一直到所有触发器反转结束为止需要一定的时间。这样,每个触发器按顺序反转方式的计数器称为异步计数器。



小丽 也有所有触发器都同时反转的计数器电路吗?

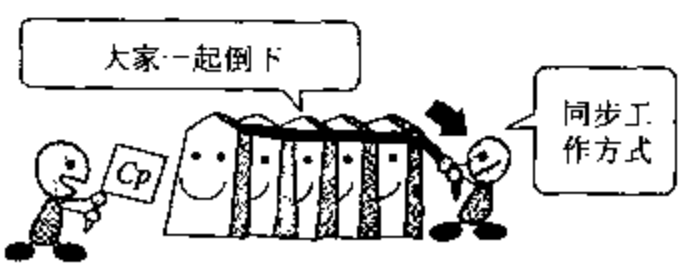
博士 有这样的电路。这种方式称为同步式,那么,现在介绍同步计数器的工作过程。使用 JK-FF 构成 4 进制计数器实例如下。



(同步计数器)

小明 JK-FF 是 J 和 K 都输入 1 时相当于 T-FF 的工作状态。

博士 对于这个电路,在时钟脉冲下降沿作用下所有的触发器同时反转。



小丽　同步和异步计数器如何选用呢？

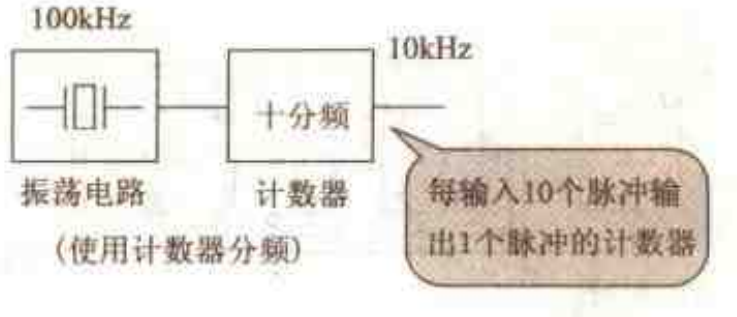
博士　异步计数器的缺点是反转按顺序进行，因此，从开始到最终结束需要一定时间，该时间为纳秒数量级。例如，人们压下按钮开关进行计数的场合，时钟脉冲速度非常低时，采用异步计数器就足够了。然而，要求高速动作时，适宜采用在一个时钟脉冲作用下整个电路同时反转的同步计数器。同步和异步计数器有关内容将在后述章节中详细学习。

计数器的应用

小明　计数器用于何处呢？

博士　数字电路中计数器的应用范围非常广泛。例如，数字时钟本身就是计数器。

数字时钟中，若对 1Hz(1 个脉冲/1 秒)的脉冲计 60 个为 1 分钟，若计数 $60\times60=3600$(个)脉冲就是 1 个小时。



另外，计数器也常用于分频。例如，要从 100kHz 时钟脉冲中得到 10kHz 时钟脉冲，就常用到计数器。这时，使用原来每 10 个时钟脉冲输出 1 个时钟脉冲的计数器(十进制计数器)即可。

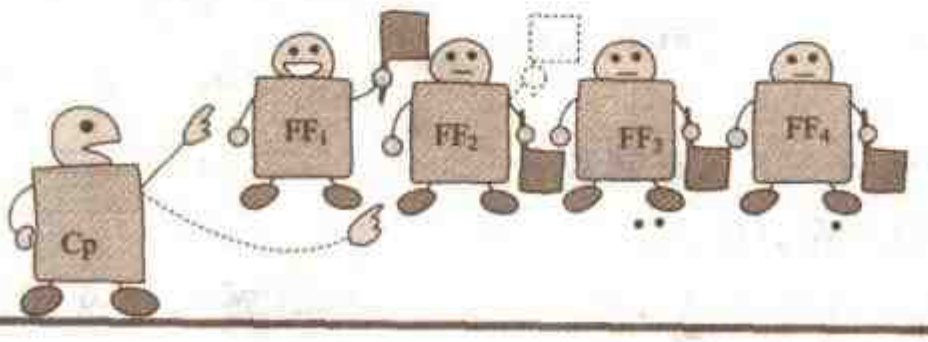
练习题

问题 1　为了构成 64 进制计数器，需要多少个触发器？

解答　因为 $2^6=64$，所以需要 6 个触发器。

2 异步n进制计数器

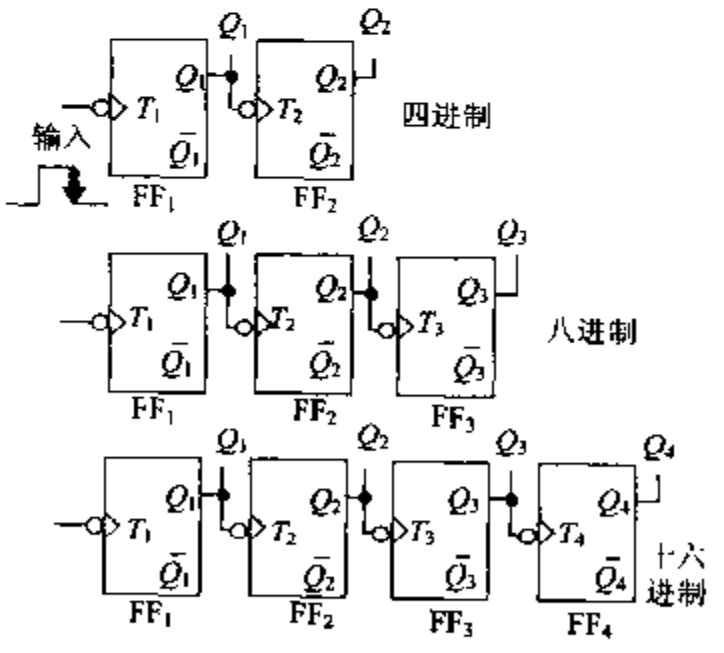
试构成任意的n进制(异步)计数器



异步 2^n 进制计数器

博士 复习一下异步 2^n 进制计数器电路。

小明 将 n 个 T-FF 级联就能构成 2^n 进制计数器。



(异步2^n进制计数器)

异步三进制计数器

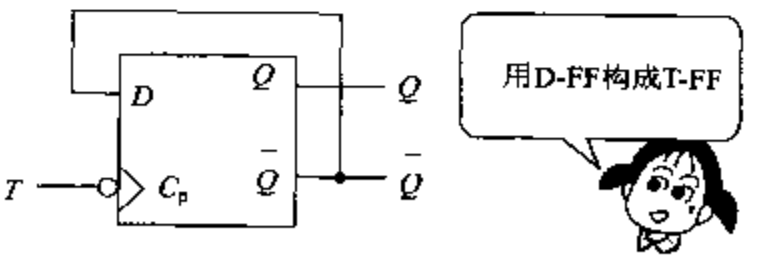
博士 试考察除 2^n 进制以外的计数器,例如,三进制计数器。

小明 3 不能用 2^n 的形式表示,因此,要想办法解决这个问题。

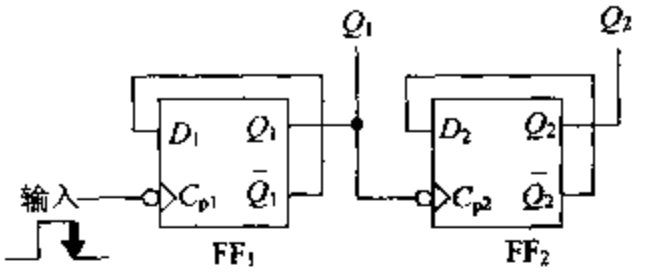
博士 是这样。可以考虑以四进制计数器为基础构成三进制计数器的方法。

另外,实际上没有 T-FF 集成电路,因此,这里用 D -FF 构成计数器电路。用 D -FF 构成 T-FF 的方法记住了吗?

小丽 记住了。若将 D-FF 输入 D 接到输出 $\bar{Q}$,则可以变换为 T-FF。



小明 用 D -FF 构成的异步四进制计数器电路如下所示。



(用D-FF构成的异步四进制计数器)

小丽　因为电路用两个触发器，所以是四进制($2^2=4$)计数器工作状态。

博士　请比较一下四进制和三进制计数器的状态转换真值表。

四进制计数器

脉冲	Q_2	Q_1
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1
4	0	0

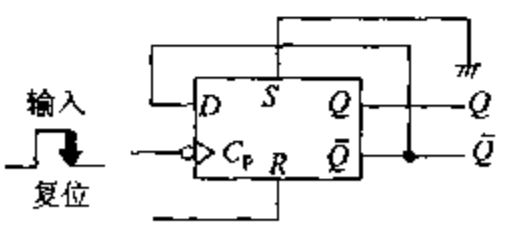
三进制计数器

脉冲	Q_2	Q_1
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	0	0

小明　对于四进制计数器，计数到第 3 个脉冲时，Q_1 和 Q_2 都为 1。然而，对于三进制计数器，这时，Q_1 和 Q_2 都为 0。

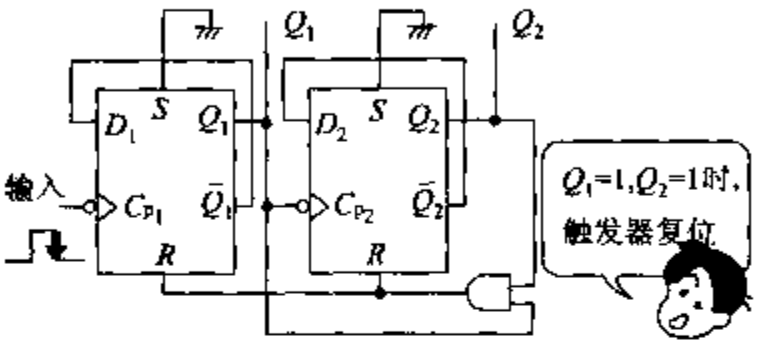
博士　正如小明所说的那样，对于四进制计数器，计数到 1，1 时，若触发器清零，则变成三进制计数器的工作状态。

小丽　若使用带有复位端的 D-FF，可使触发器强制复位。

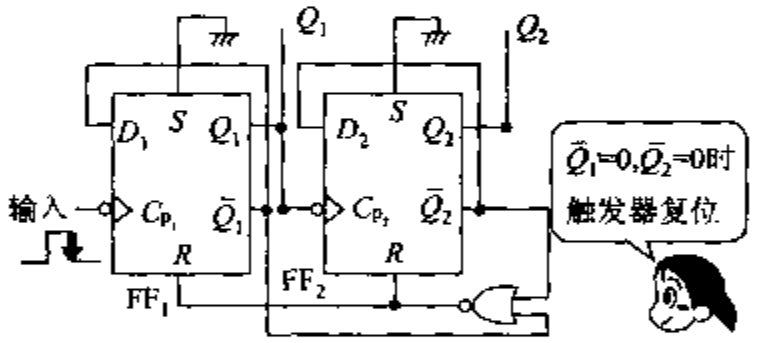


博士　是这样。那么，试考察 Q_1，Q_2 变为 1 的瞬间触发器复位电路。

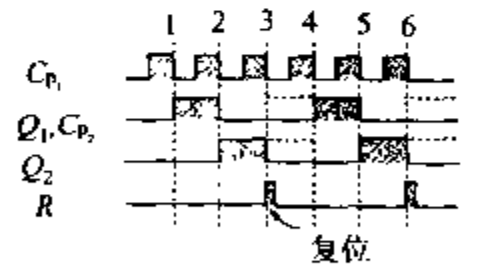
小明　对于这个 D-FF，若复位端输入 1，则输出复位并变为 0。因此，采用输入 1，1 时，输出为 1 的与门电路即可。



博士　是这样。小明用输出 $\bar{Q}_1$，$\bar{Q}_2$，若用 $\bar{Q}_1$，$\bar{Q}_2$ 时，也可以采用输入 0、0 时输出为 1 的或非门电路。



请用时序图验证三进制计数器工作状态。



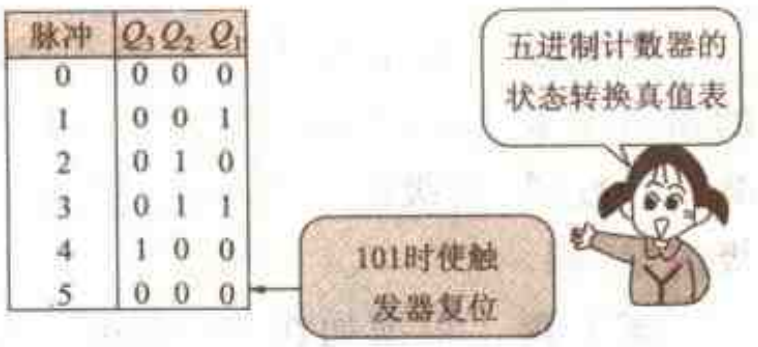
(异步三进制计数器时序图)

异步 n 进制计数器

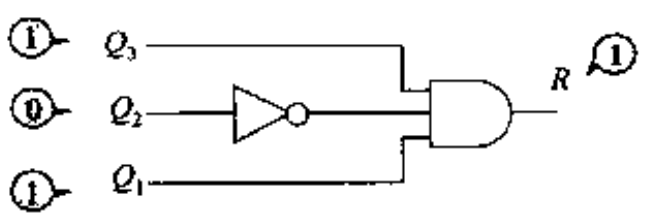
博士　任意的异步 n 进制计数器的构成方式也与三进制计数器一样。

(1) 异步五进制计数器

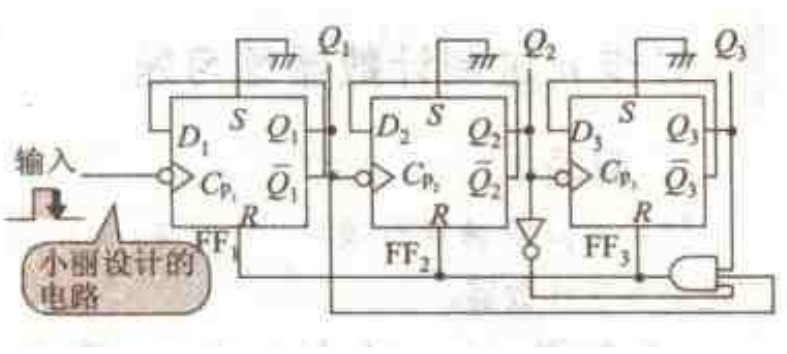
小丽 这里，我要设计一个五进制计数器电路！对于五进制计数器，Q_3，Q_2，Q_1 各自为 1，0，1 时，使触发器复位即可。



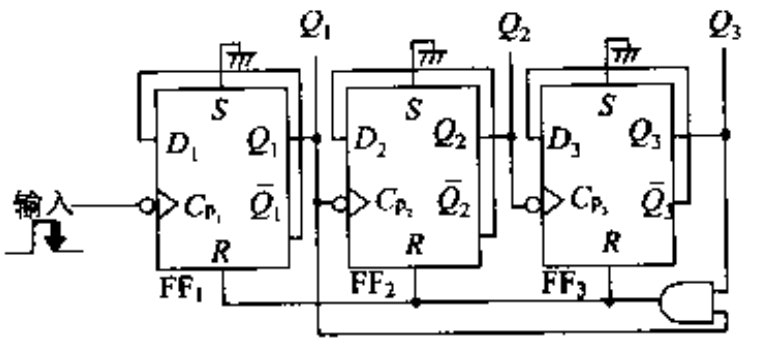
仅输入 1，0，1 时输出为 1 的电路可用与门构成。



由此，能实现五进制计数器的电路如下。



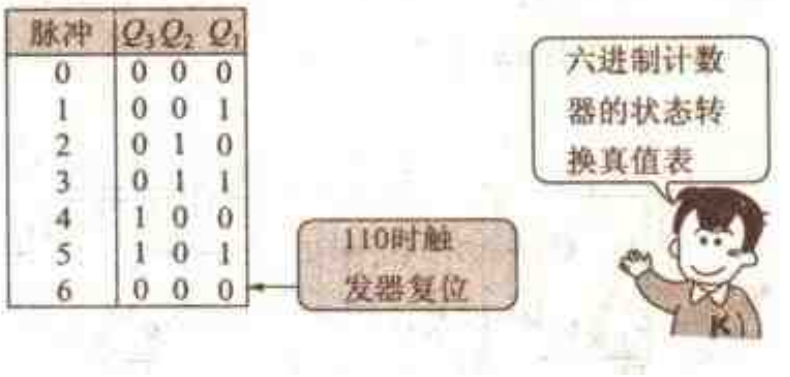
博士 很好。由状态转换真值表可知，若再仔细考虑一下，Q_3，Q_1 开始都为 1 时，Q_3，Q_2，Q_1 各自变为 1，0，1。利用这一点，小丽设计的五进制计数器电路可简化如下。



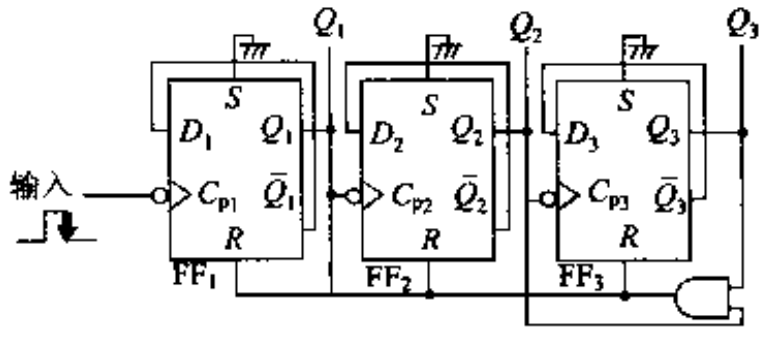
(异步五进制计数器)

(2) 异步六进制计数器

小明 对于六进加法制计数器，在 Q_3，Q_2，Q_1 各自为 1，1，0 时，使触发器复位即可。仔细地观察状态转换真值表可知，开始 Q_3，Q_2 都为 1 时，Q_3，Q_2，Q_1 各自变为 1，1，0。



因此，六进制计数器的电路如下。



(异步六进制计数器)

(3) 异步十进制计数器

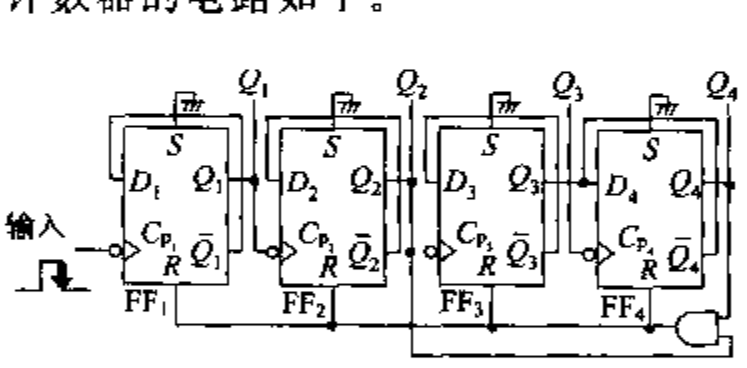
博士 试构成较复杂的十进制计数器。十进制计数器是用 4 个触发器级联的十六进制(2^4)的基本计数器。

脉冲	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1
10	0	0	0	0



小丽　对于十进制加法计数器，在 Q_4，Q_3，Q_2，Q_1 各自为 1，0，1，0 时，使触发器复位即可。

仔细地观察状态转换真值表可知，开始 Q_4，Q_2 都为 1 时，Q_4，Q_3，Q_2，Q_1 各自变为 1，0，1，0。因此，十进制计数器的电路如下。

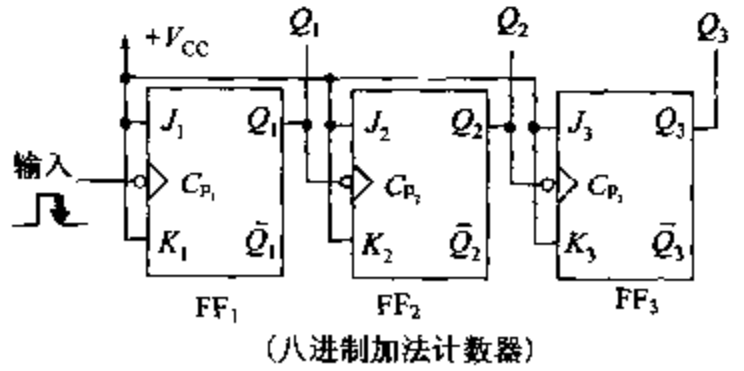


（异步十进制计数器）

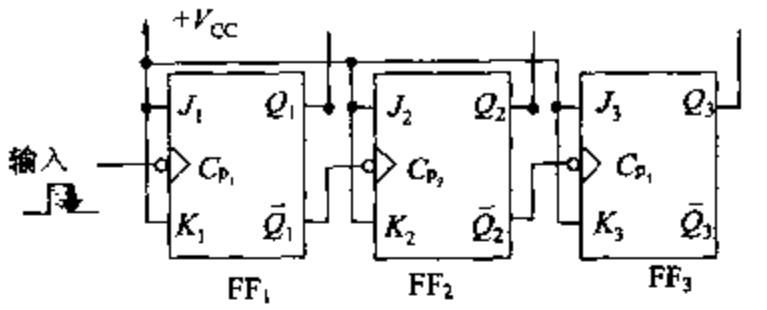
加法计数器和减法计数器

博士　试考察异步加法和减法计数器之间关系。现以用 JK-FF 构成的计数器为例进行说明。

请比较以下的八进制加法和减法计数器的电路。



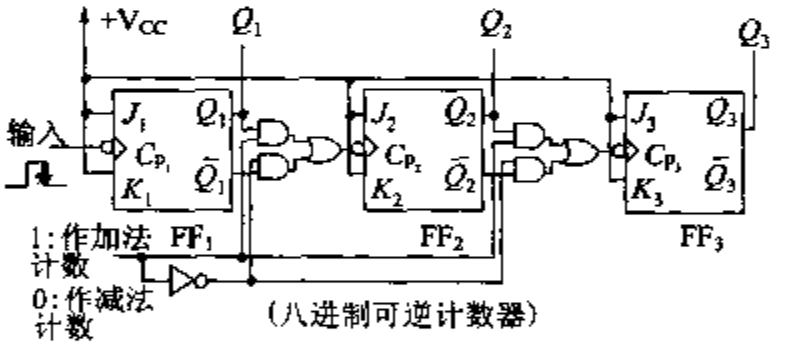
（八进制加法计数器）



（八进制减法计数器）

小明　对于加法计数器，前级的输出端 Q 接到下级的 C_p 端。对于减法计数器，前级的输出端 $\bar{Q}$ 接到下级的 C_p 端。

小丽　根据加在 C_P 端的输入不同选择 Q 还是 $\bar{Q}$，利用门电路对工作是作加法计数还是作减法计数进行切换，即可逆计数器。



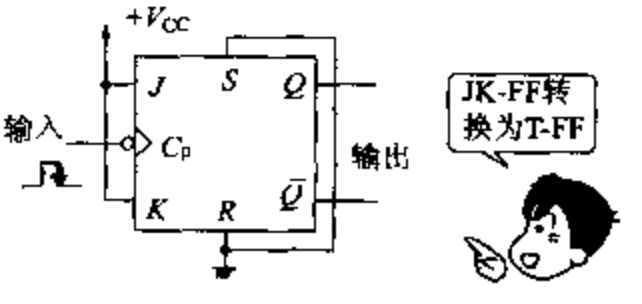
（八进制可逆计数器）

异步 n 进制计数器练习题

问题 1

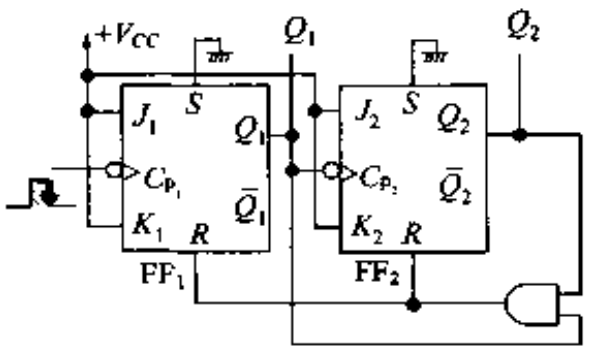
试用下降沿触发有效型 JK-FF 构成异步三进制加法计数器。

小朋　JK-FF 转换为 T-FF 的方法在第 5 章中学习过。



用下降沿触发有效型 JK-FF 构成的异步三进制加法计数器电路如下。

解答



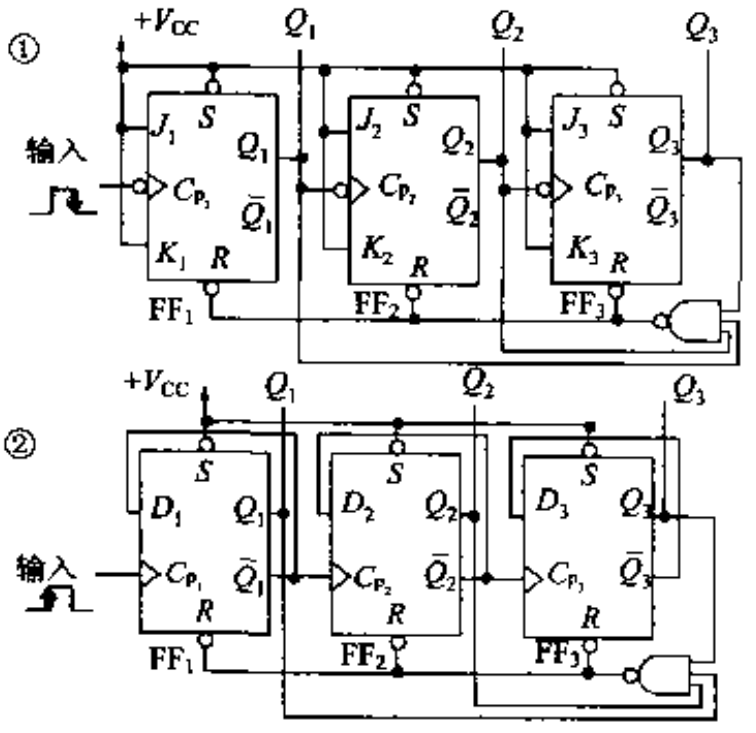
(八进制可逆计数器)

问题 2

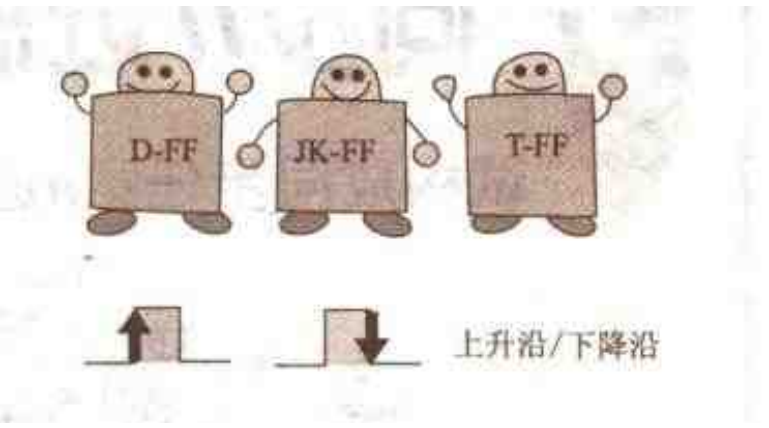
试用 :① 下降沿触发有效型 JK-FF,

② 上升沿触发有效型 D-FF 构成异步七进制加法计数器。

解答

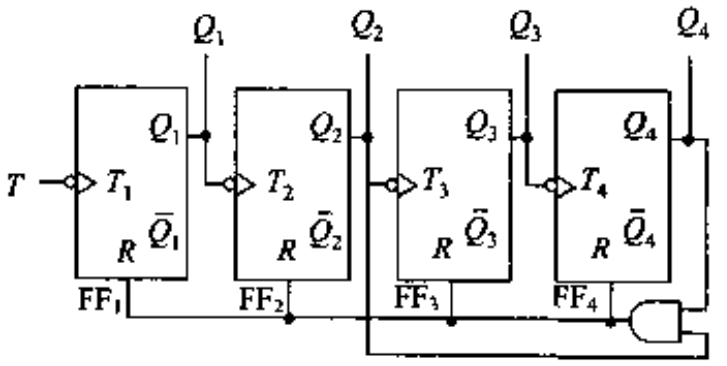


博士 对于异步任意 n 进制计数器都能设计了吗? 设计时请注意使用的触发器的种类,是上升沿触发有效型还是下降沿触发有效型,是加法计数器还是减法计数器等。

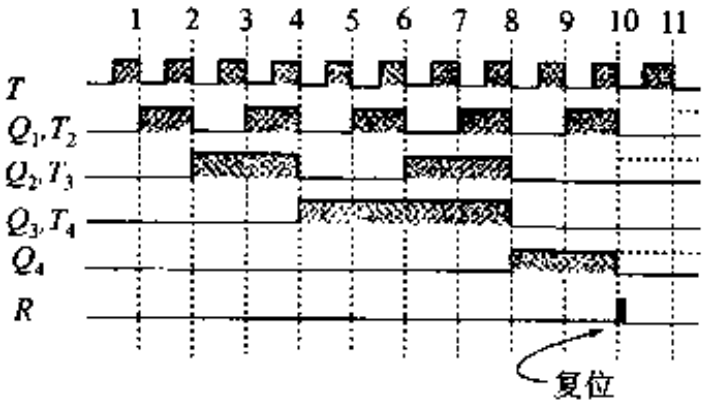


练习题

问题 1 试说明下述计数器是如何工作的,请画出时序图。

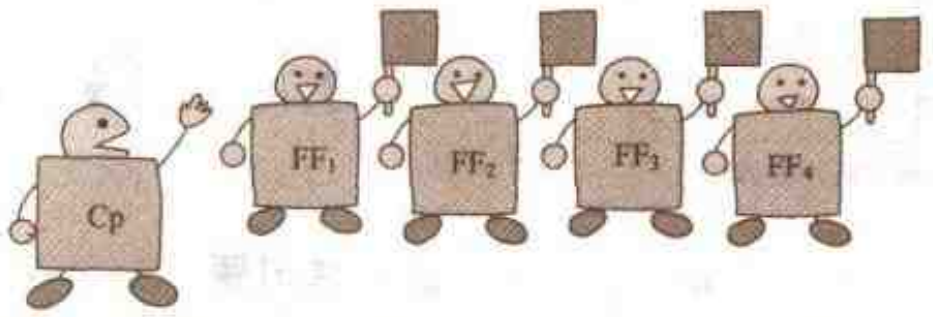


解答 这是异步十进制加法计数器。



3 同步n进制计数器

试构成同步任意n进制计数器

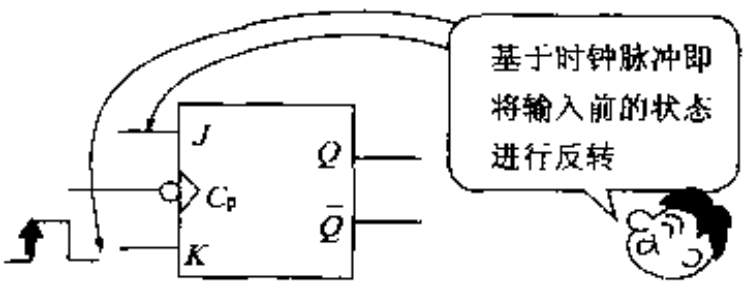


同步计数器

博士　这节学习同步 n 进制计数器。

小丽　异步计数器是触发器接收前级的输出，顺序反转的计数器。而对于同步计数器，各级触发器在共同时钟脉冲作用下同时反转。

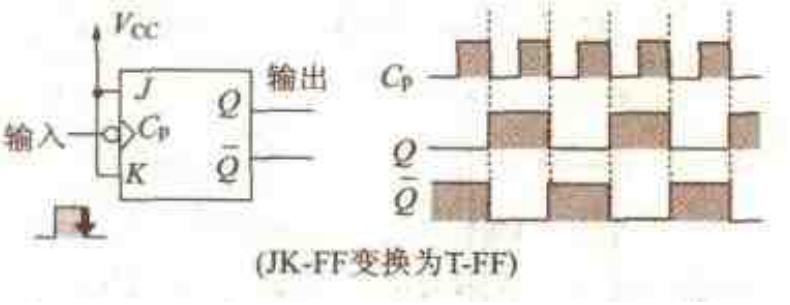
博士　是这样。同步计数器和异步计数器不同，同步计数器是所有触发器同时反转。所以，反转时输入条件是考虑即将反转前的状态，请注意这一点。



同步 2^n 进制计数器

博士　同步计数器也是以 T-FF 的工作状态为基本的计数器，但是市场上没有 T-FF 集成电路出售，因此，这里学习用 JK-FF 构成同步 2^n 进制计数器的方法。

小明　若 JK-FF 的输入 J 和 K 都为 1，则可以变换为每输入一个时钟脉冲触发器反转的 T-FF。



(JK-FF变换为T-FF)

博士　那么，考虑四（2^2）进制计数器的情况，四进制计数器的状态转换真值表如下。

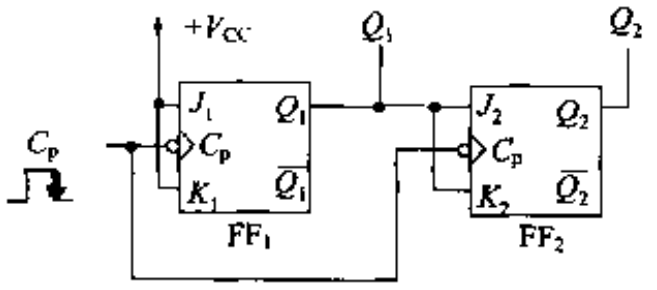
脉冲	Q_2	Q_1
0	0	0
1	0	1
2	1	0
3	1	1
4	0	0

四进制计数器的状态转换真值表

每来一个时钟脉冲输出 Q_1 反转一次。这就是 T-FF 自身的工作状态，因此，FF_1 的 J、K 端都接 1。Q_1 从 1 变为 0 时，输出 Q_2 反转一次。换句话说，在 Q_2 即将反转之前，Q_1 必定为 1。因此，FF_2 的 J、K 端接到 Q_1。

C_p 端也直接输入 FF_1，FF_2 的时钟信号。

小明 同步四进制加法计数器的电路如下。



（同步四进制计数器）

小丽 同步八（2^3）进制计数器如何构成呢？

小明 试考察八进制计数器的状态转换真值表。

脉冲	Q_3	Q_2	Q_1
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	1	0	1
6	1	1	0
7	1	1	1
8	0	0	0

八进制计数器的状态转换真值表

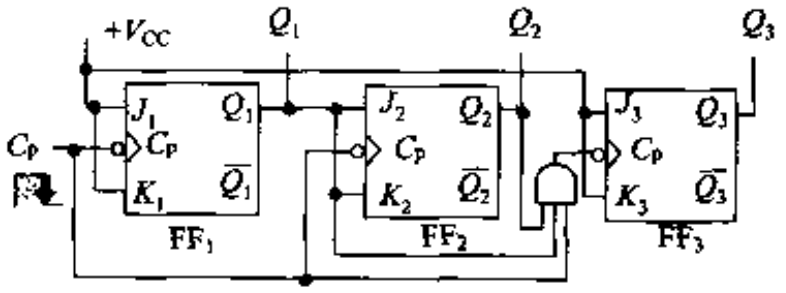
Q_3反转时条件是什么？

博士 Q_1，Q_2 的情况与四进制计数器一样，试考察 Q_3 反转时的条件。

小丽 在 Q_3 即将反转前，Q_1，Q_2 均为 1。

博士 正如小丽所说的那样，在 FF_3 即将反转前，Q_1，Q_2 均为 1。也就是说，Q_1，Q_2，C_p 逻辑与作为 FF_3 的 C_p 输入即可。

小明 同步八进制加法计数器的电路如下。



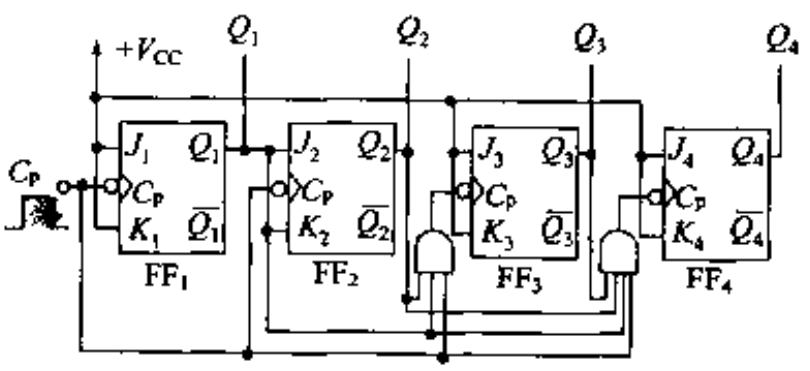
（同步八进制计数器）

博士 十六（2^4）进制计数器如何构成呢？

小丽 列出同样的状态转换真值表，由此可知，在 Q_4 即将反转前，Q_1，Q_2，Q_3 均为 1。

小明 Q_1，Q_2，Q_3，C_p 逻辑与作为 FF_4 的 C_p 的输入即可。

小丽 这样，十六进制计数器的电路如下。



（同步十六进制计数器）

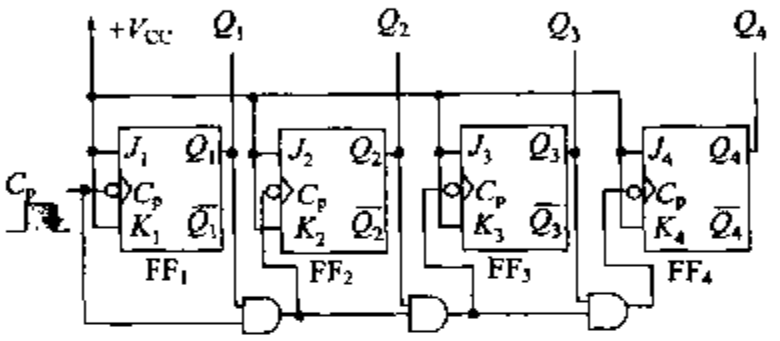
博士 按照同样方式，可构成同步任意 2^n 进制计数器。

小丽 用这种方法，增加 FF

就要增加相应的多输入与门，电路复杂。难道没有更好的解决方法吗？

博士　用 2 输入与门也可以构成同步 2^n 进制计数器。电路简单，但不能高速工作。

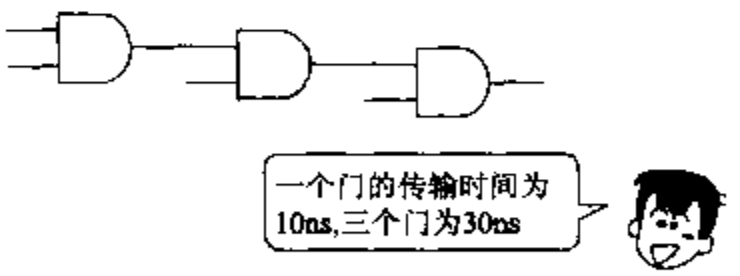
请说一下不能进行高速工作的原因。



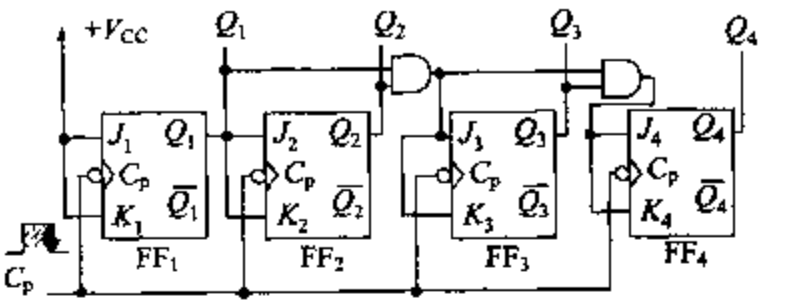
（低速同步十六进制计数器）

小明　对于多输入与门电路，加在各 C_p 输入的信号只能通过一个与门。而采用 2 输入与门简单电路，各 C_p 输入加的信号到前级之前已通过所有的与门。

博士　小明，观点鲜明。门有延迟时间，因此，若通过多个门，则得到输出需要的时间增加。



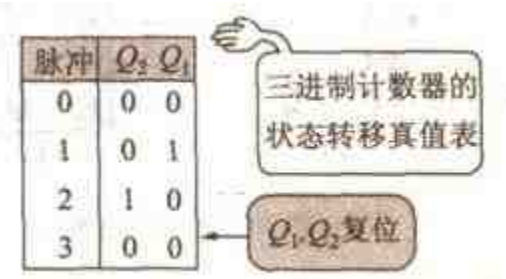
博士　控制 J，K 端，同样可构成同步 2^n 进制计数器。



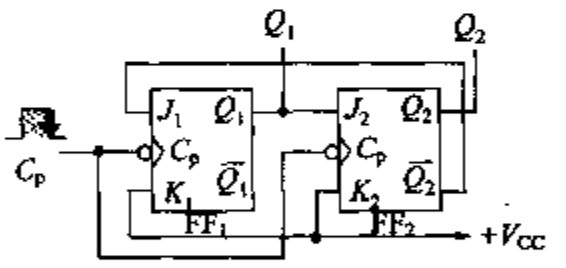
（控制J,K端的同步十六进制计数器）

同步三进制计数器

博士　现介绍用 JK-FF 构成同步三进制计数器的方法。对于三进制计数器，在第三个时钟脉冲输入时，Q_1，Q_2 均为 0 即可。

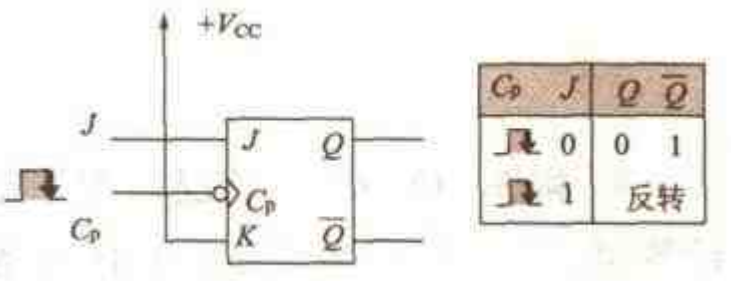


请根据电路考察其工作状态。



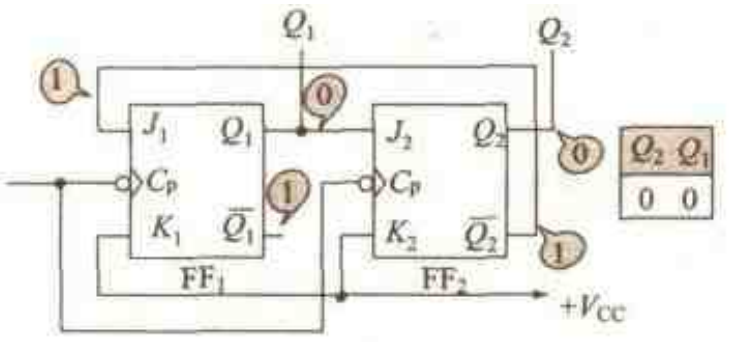
（同步三进制计数器）

在这个电路中，触发器 K 输入接到 1。由此，J 输入为 0 时 Q 复位，J 输入为 1 时 Q 反转。

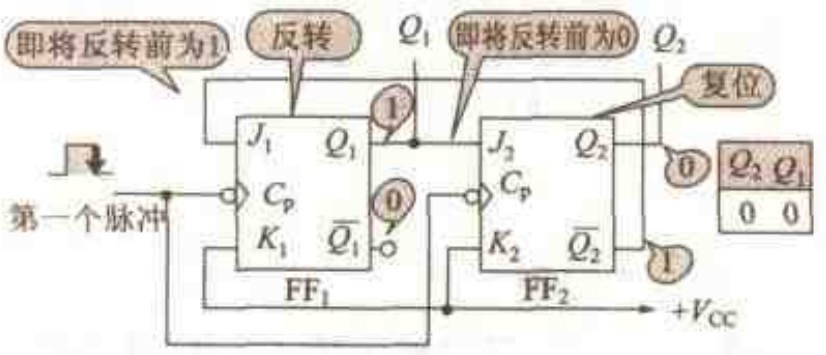


同步三进制计数器的工作状态

(1) 开始 Q_1、Q_2 均为 0，这种状态时 $\overline{Q}_1$、$\overline{Q}_2$ 均变为 1。

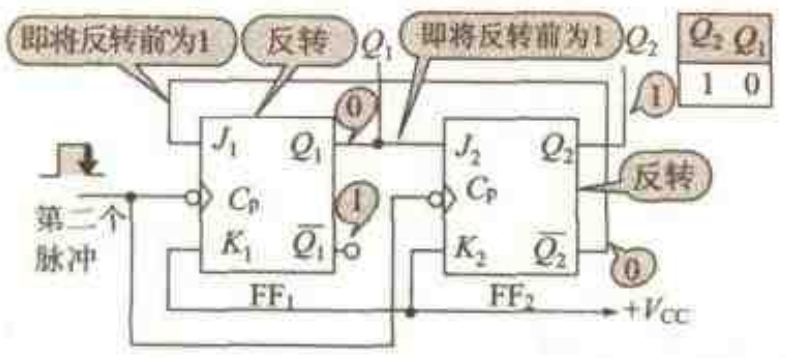


(2) 若输入第一个时钟脉冲，FF_1 的 $J=1$，$K=1$，因此 FF_1 反转，变为 $Q_1=1$，$\overline{Q}_1=0$。

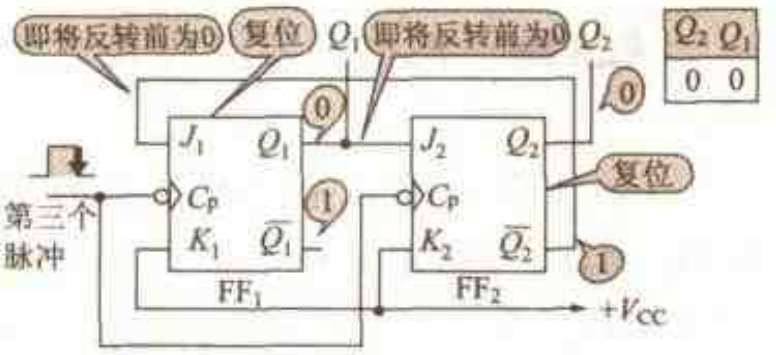


另外，FF_2 在即将反转前输入 $J=0$，因此，维持原状态，即 $Q_2=0$，$\overline{Q}_2=1$。

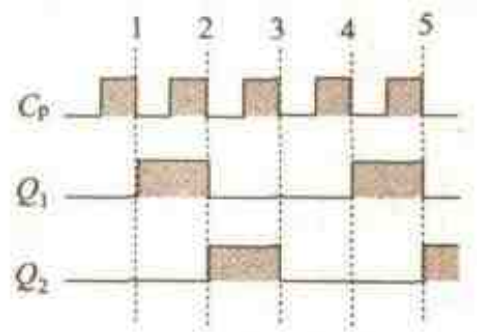
(3) 若输入第二个时钟脉冲，FF_1 的 $J=1$，$K=1$，因此，FF_1 反转，变为 $Q_1=0$，$\overline{Q}_1=1$。另外，FF_2 在即将反转前输入 $J=1$，因此，FF_2 反转，变为 $Q_2=1$，$\overline{Q}_2=0$。



(4) 若输入第三个时钟脉冲，FF_1 的 $J=0$，$K=1$，因此，FF_1 复位，变为 $Q_1=0$，$\overline{Q}_1=1$。另外，FF_2 在即将反转前输入 $J=0$，因此，FF_2 也复位，变为 $Q_2=0$，$\overline{Q}_2=1$。



(1)～(4) 示出了三进制计数器的工作状态。试用时序图验证同步三进制计数器的工作状态。



同步 n 进制计数器

博士 同步 n 进制计数器的构成方法也与三进制计数器一样，试构成同步五进制计数器。

小丽 利用同步八进制计数器，输入第五个脉冲时，所有的触发器都复位，即成为五进制计数器。

脉冲	FF_3 Q_3	FF_2 Q_2	FF_1 Q_1
0	0	0	0
1	0	0	1
2	0	1	0
3	0	1	1
4	1	0	0
5	0	0	0

五进制计数器的状态转移真值表

仅这次脉冲FF_3置位

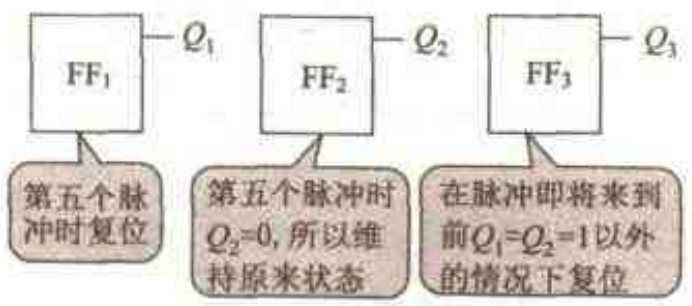
101时复位

博士　根据必要条件设计电路。

（1）FF_1 在第五个脉冲来到时不置位，因此，可利用在第五个时钟脉冲即将来到前$\overline{Q}_3$ 变为 0 这种状态。即 J 接到$\overline{Q}_3$，在即将输入前，$\overline{Q}_3$ 变为 0 时，使其不置位。

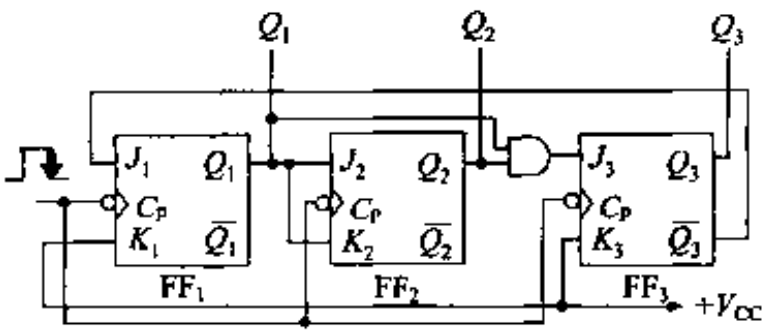
（2）FF_2 用第五个时钟脉冲使 $Q_2=0$，不管原来的状态如何。

（3）FF_3 仅在即将反转前 $Q_2=Q_1=1$ 时置位，其他时候复位，Q_1 和 Q_2 逻辑与作为 J 输入。



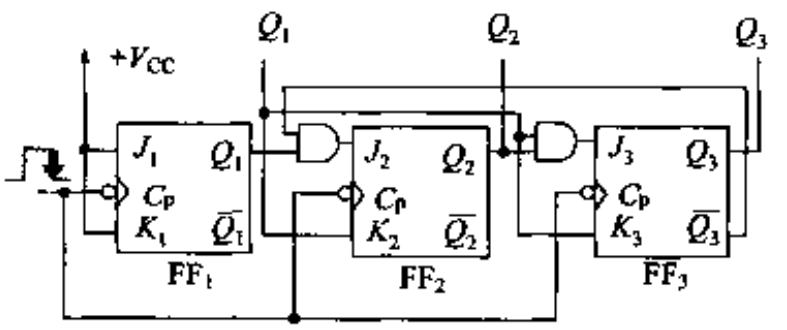
（第五个脉冲时$Q_1=Q_2=Q_3=0$）

由此，构成同步五进制计数器的电路如下所示。



（同步五进制计数器）

博士　同步六进制加法计数器电路如下所示，请考察其工作状态。



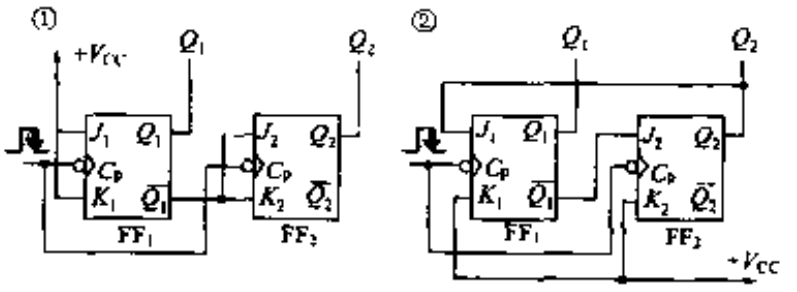
（同步六进制计数器）

练习题

问题 1　试用下降沿触发有效型 JK-FF 构成下述的计数器。

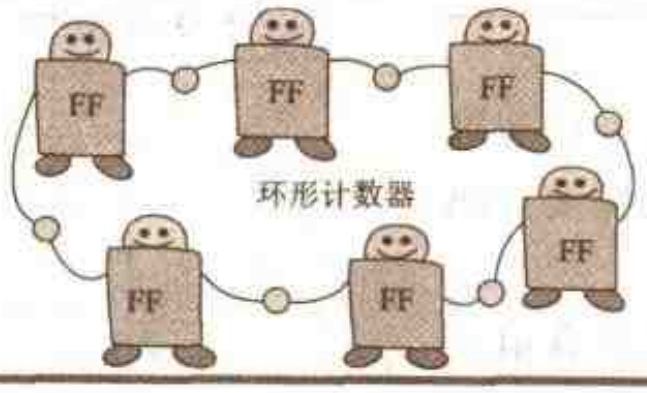
① 同步四进制减法计数器 ② 同步三进制减法计数器

解答



4 各种计数器

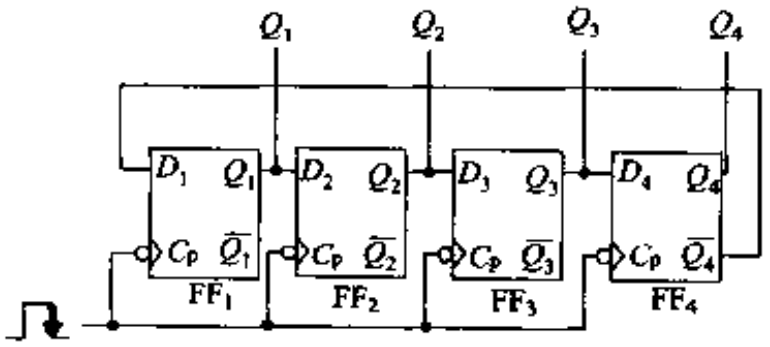
学习用移位寄存器构成的计数器



约翰逊计数器

博士 用移位寄存器构成的计数器有约翰逊计数器。

试考察用 4 个 D-FF 级联构成的计数器。



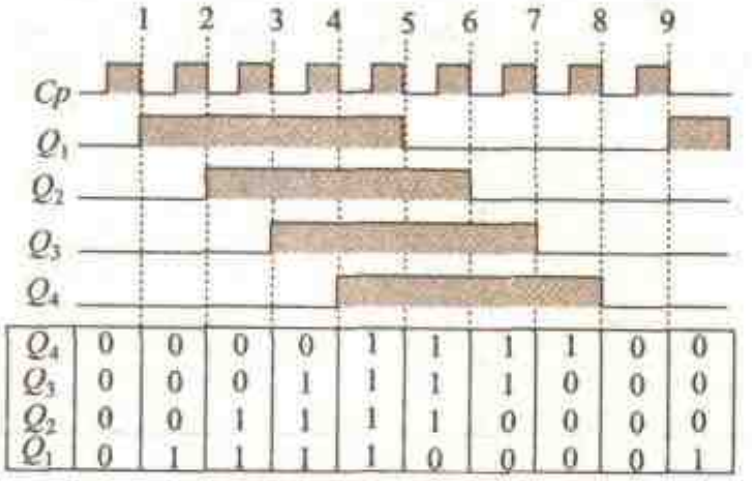
(八进制约翰逊计数器)

小明 末级触发器的输出 $\overline{Q}_4$ 反馈接到第一级的输入 D_1。

博士 开始所有的触发器复位，之后逐个输入时钟脉冲时，请考察这时各触发器输出。

小丽 所有的触发器复位之后，FF_1 的 D_1 端立即输入 1。

若再继续输入时钟脉冲，$Q_1 \sim Q_4$ 的变化情况如时序图所示。



(八进制约翰逊计数器的时序图)

小明 用第八个时钟脉冲使所有的触发器复位，因此，这就是八进制计数器的工作状态。

博士 是这样，这种计数器称为约翰逊计数器。若用约翰逊计数器将 n 个触发器级联就构成 $2 \times n$ 进制计数器。

小丽 的确是这样，用八进制计数器可以得到 8 种形式输出，但输出与以二进制数进行计数的计数器不同，…

脉冲	二进制	约翰逊计数器
0	0 0 0 0	0 0 0 0
1	0 0 0 1	0 0 0 1
2	0 0 1 0	0 0 1 1
3	0 0 1 1	0 1 1 1
4	0 1 0 0	1 1 1 1
5	0 1 0 1	1 1 1 0
6	0 1 1 0	1 1 0 0
7	0 1 1 1	1 0 0 0

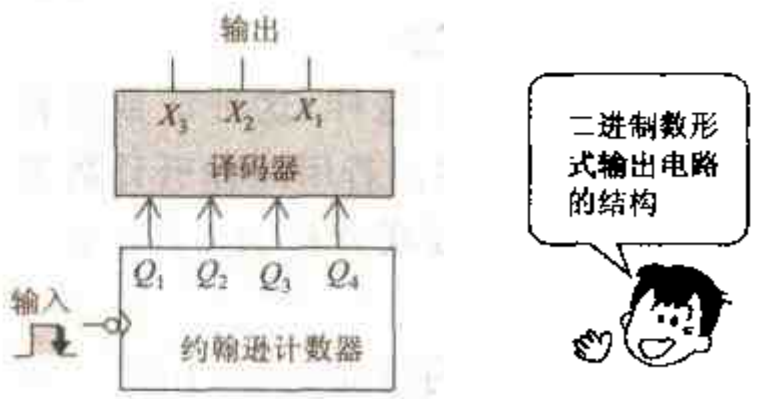
博士　是这样，约翰逊计数器的输出要用二进制数表示时需要译码器。

小明　这时，使用如下真值表的译码器即可。

脉　冲	输　入				输　出		
	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	X_3	X_2	X_1
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1
2	0	0	1	1	0	1	0
3	0	1	1	1	0	1	1
4	1	1	1	1	1	0	0
5	1	1	1	0	1	0	1
6	1	1	0	0	1	1	0
7	1	0	0	0	1	1	1

（译码器的真值表）

电路构成如下

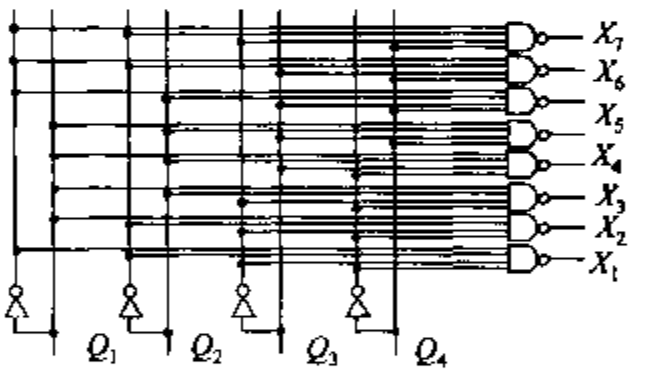


博士　另外，设定 8 个输出端，将数 0 到 7 分配给各端子，这样的译码器如下所示。称之为 8 解 1 译码器。

小丽　8 解 1 译码器就是从 8 根输出线中选用任 1 根线的译码器。

脉　冲	输　入				输　出							
	Q_4	Q_3	Q_2	Q_1	X_0	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0
5	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

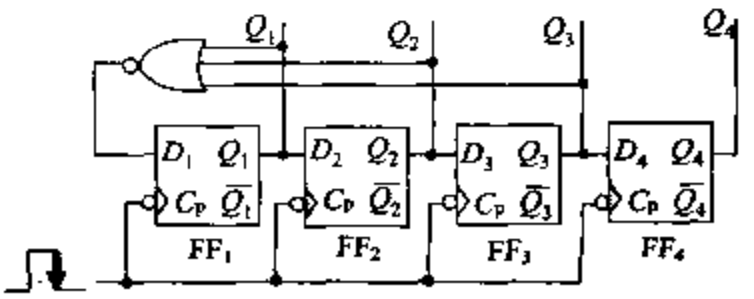
（8 解 1 译码器真值表）



（8解1译码器电路）

环形计数器

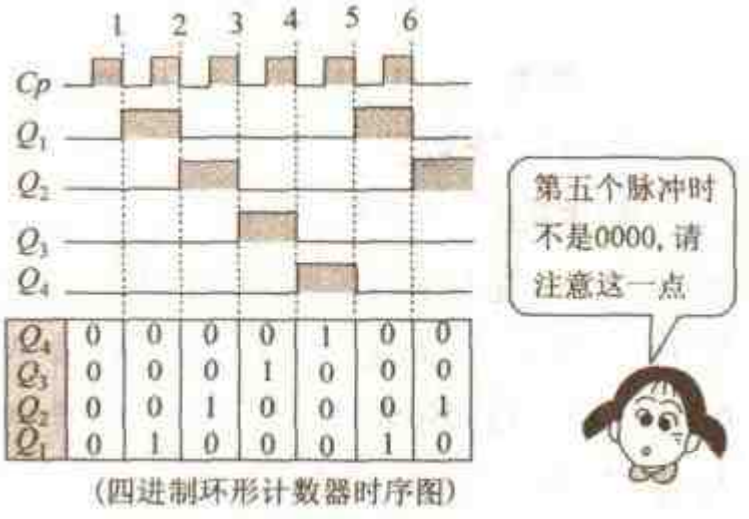
博士　再学习用一个移位寄存器构成的计数器，这种计数器称为环形计数器。试考察下述电路的工作状态。



（四进制环形计数器）

小丽 除末级以外，将所有输出 Q 进行逻辑或非操作，输入到第一级触发器的 D_1 端。因此，开始所有触发器复位，即将复位后 D_1 仅输入 1。

小明 考察一下画出的时序图。



（四进制环形计数器时序图）

小丽 每输入 1 个脉冲，触发器顺序移位 1 个 1。

小明 移到末级触发器移位结束时，再返回到第 1 级 FF_1。这就是 4 解 1 形式计数器的工作状态。

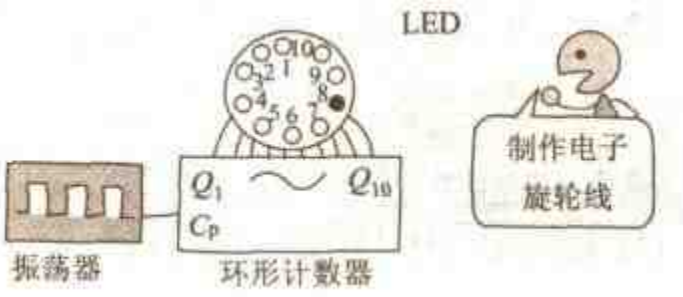
脉冲	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1



博士 这样，对于环形计数器，用 n 个触发器级联就构成 n 进制计数器。

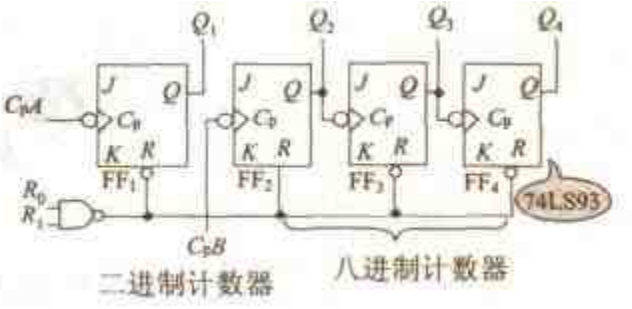
小丽 利用环形计数器可构成电子旋转线。

博士 环形计数器各输出端接 LED，采用适当速度时钟脉冲的振荡器就可构成电子旋转线。



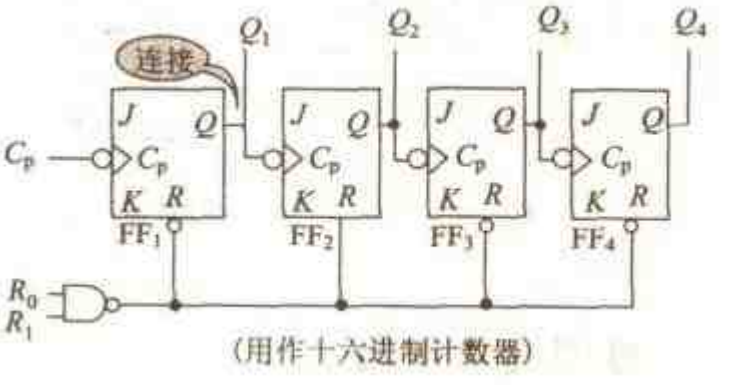
计数器组合

博士 考察一下 TTL 的 74LS93。



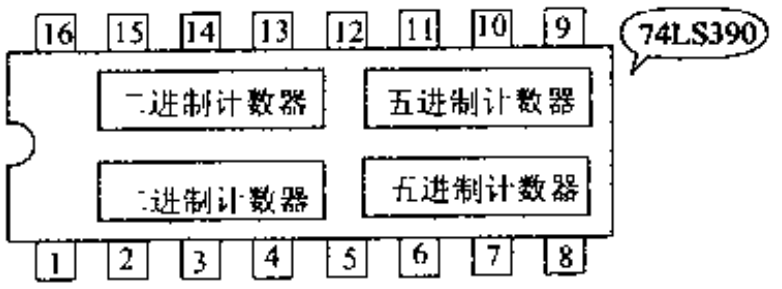
小丽 74LS93 是用 4 个触发器构成的异步计数器。

小明 然而，FF_1 和 FF_2 不连接，因此，FF_2 的 C_p 是独立的。



博士 集成电路 74LS93 是 FF_1 作为二进制计数器，FF_2 作为八进制计数器，并能独立工作的计数器。当然，若将 FF_1 的输出接到 FF_2 的输入，就是普通的十六进制计数器。

另外，74LS390 中二进制计数器和五进制计数器各有 2 个。

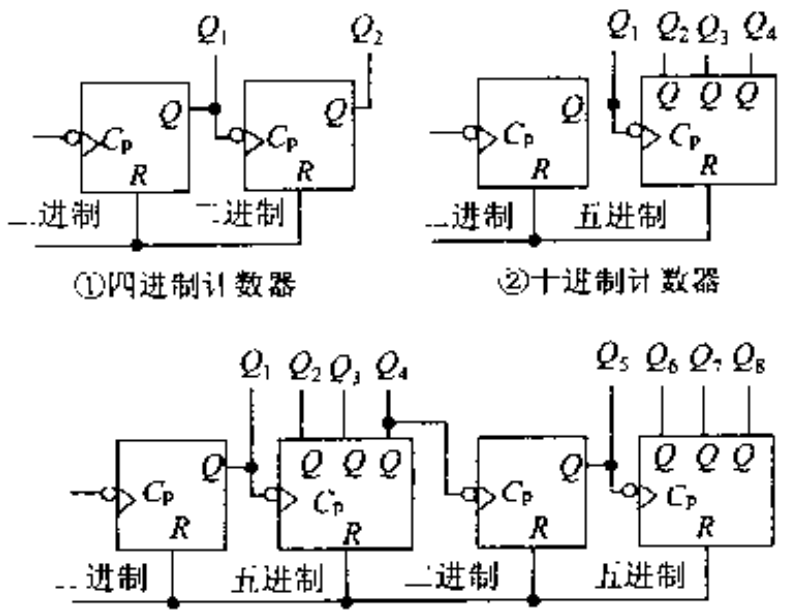




小明 用74LS390中4个计数器组合而构成不同 n 进制计数器。

进制	组合
2	一进制×1
4	一进制× 二进制
5	五进制×1
10	二进制×五进制
20	二进制×一进制×五进制
25	五进制×五进制
50	二进制×五进制×五进制
100	二进制× 进制×五进制×五进制





可编程计数器

博士 计数器能理解了吗?

小明 是的,理解了构成 n 进制计数器的各种方法。

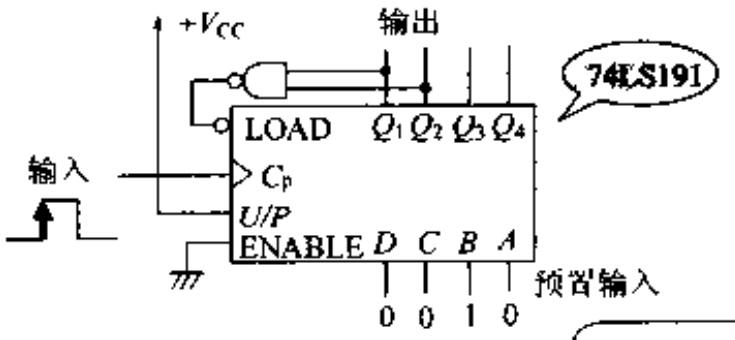
博士 迄今为止已经学习过触发器组合成任意 n 进制计数器的方法。这里,说明对同一电路可自由编程构成任何进制计数器,即可编程计数器。

(1) 用带有预置功能的计数器,可构成可编程计数器。

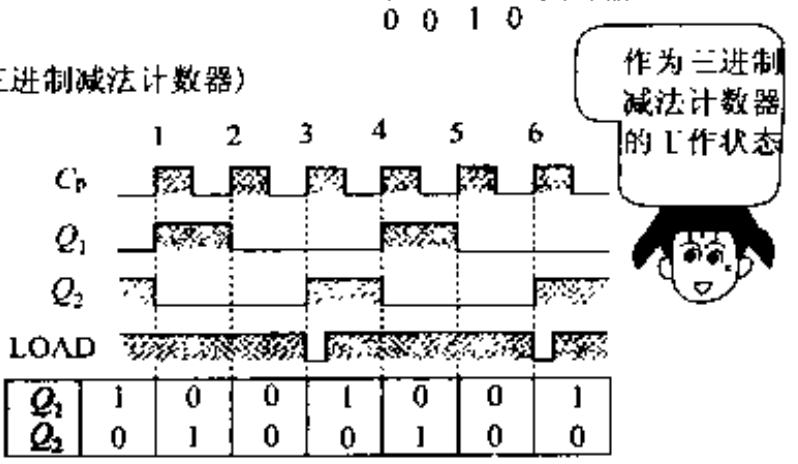
以74LS191为例进行说明。

小明 74LS191是有预置功能的4位可逆计数器。

博士 74LS191的LOAD端输入0时,进行预置。例如,用作三进制计数器,预置输入端D~A输入0010。Q_1,Q_2均为1时,作为预置的与非门,由于预置的作用,Q_1,Q_2恢复为0,1。



(三进制减法计数器)



Q_1	1	0	0	1	0	0	1
Q_2	0	1	0	0	1	0	0

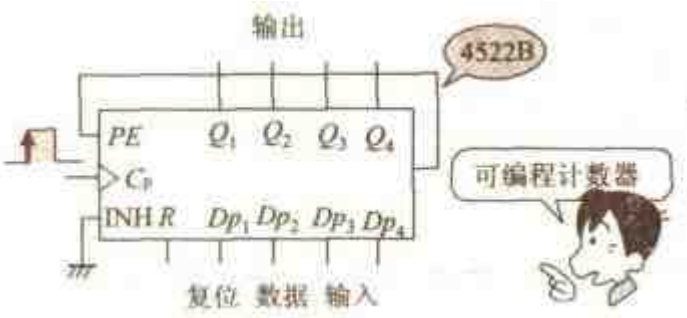
小丽 这是三进制减法计数器工作状态吧。

博士 若这样做,则根据预置端子的数据就可构成任意 n 进制计数器。

(2) 现介绍市售可编程计数器集成电路。

可编程计数器集成电路根据输入端数据的不同可用作任意 n 进制计数器，因此，它是使用非常方便的计数器集成电路。

试考察 C-MOS 型 4522B 实例。

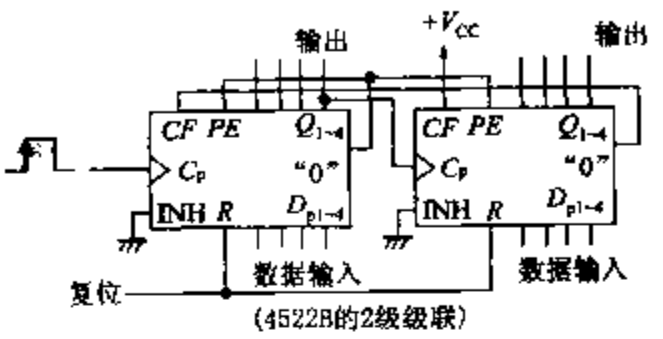


小明 4522B 有 4 位 Q 输出，因此，可用作十六进制计数器。

博士 是这样。另外，根据输入端 $DP_1 \sim DP_4$ 置位数据的不同，构成任意 n 进制计数器。

小丽 但是最高也只能到十六进制计数器。

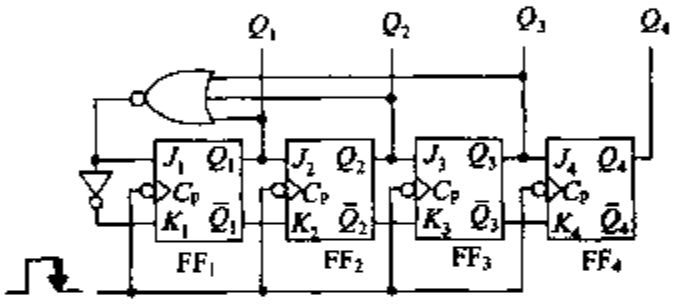
博士 用 1 片集成电路最高只能到十六进制计数器。然而，也可将 4522B 像下述那样多片连接，若 2 级级联就可构成到 256 进制计数器。

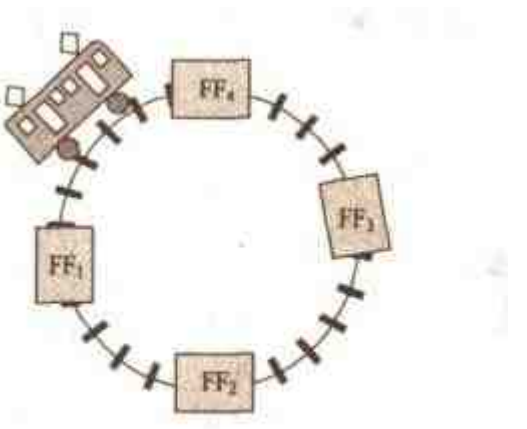


练习题

问题 1 试用 JK-FF 构成四进制环形计数器。

解答





5 实　践

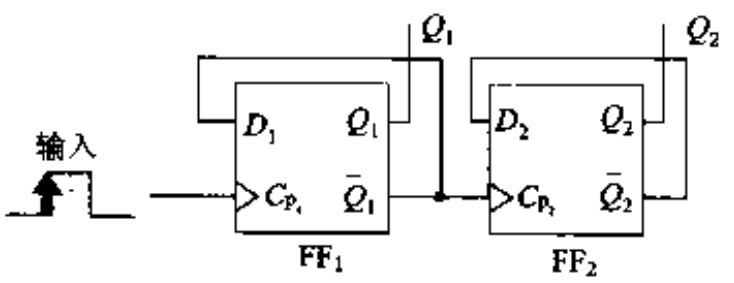
实际制作计数器，并对该计数器进行计数



异步四进制计数器

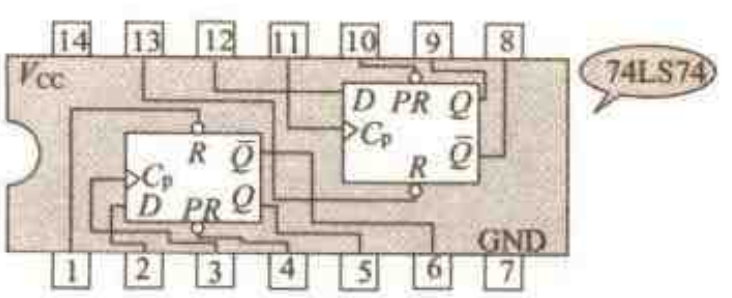
博士　用两个 D-FF 制作异步四进制加法计数器。

小明　原理电路如下。

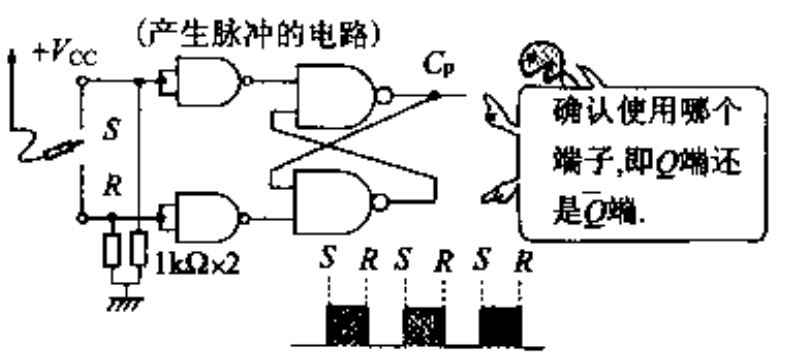


（异步四进制加法计数器）

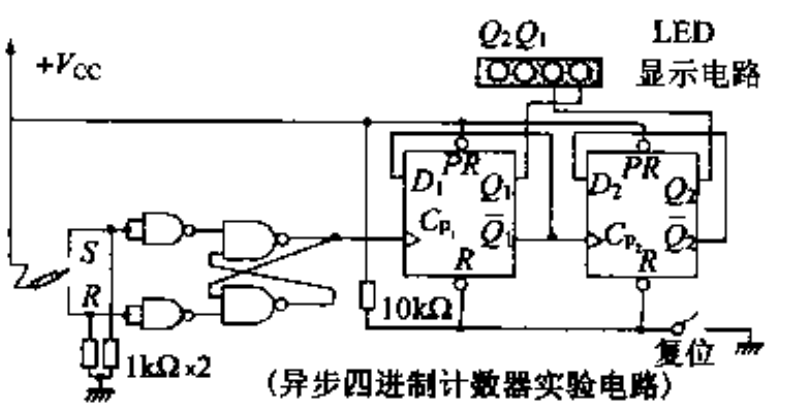
博士　D-FF 采用 TTL 的 74LS74。



小丽　时钟脉冲输入端使用 RS-FF。将接到 $+V_{CC}$ 的引线交替地接到置位端，从而产生时钟脉冲。可利用第 5 章实践一节中制作的 RS-FF 实验电路。

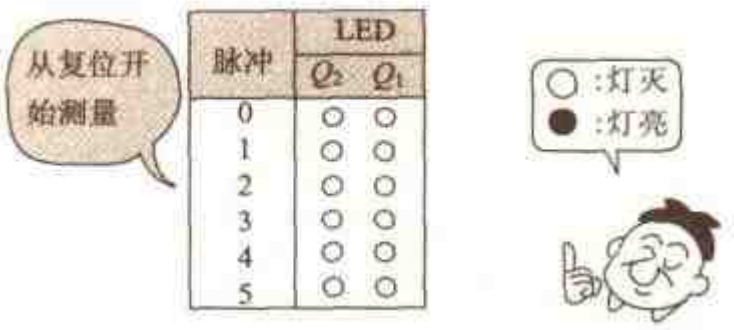


小明　那么，制作好实验电路，开始做实验。



（异步四进制计数器实验电路）

博士 试完成下述的状态转换真值表。



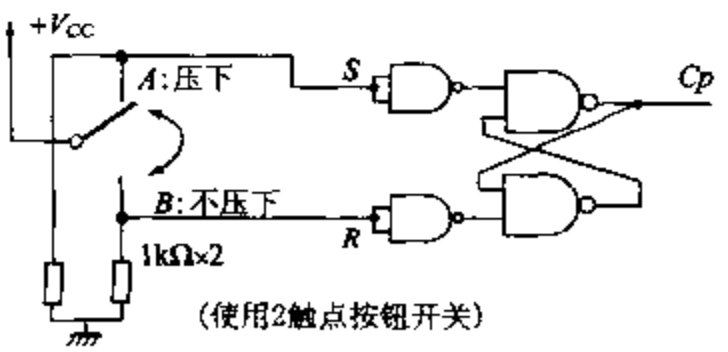
小明 每输入一个时钟脉冲，输出进行加法计数，第四个脉冲来到时触发器复位。

小丽 这表示四进制计数器的工作状态。

脉冲	LED	
	Q_2	Q_1
0	○	○
1	○	●
2	●	○
3	●	●
4	○	○
5	○	●



博士 用引线接置位端或复位端非常麻烦时，可采用 2 触点的按钮开关，接线时使按钮开关压下时 $+V_{CC}$ 接到置位端，不压下时 $+V_{CC}$ 接到复位端。



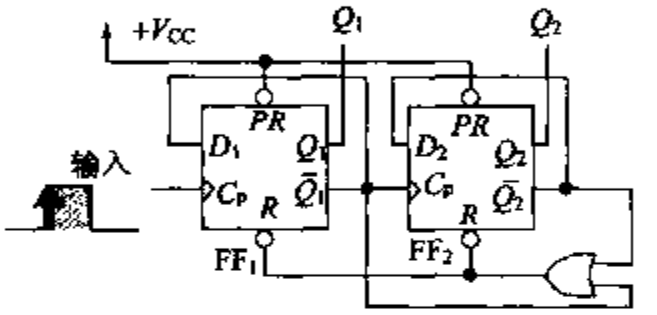
(使用2触点按钮开关)

异步三进制计数器

博士 将异步四进制计数器稍加修改，就可以构成异步三进制计数器。

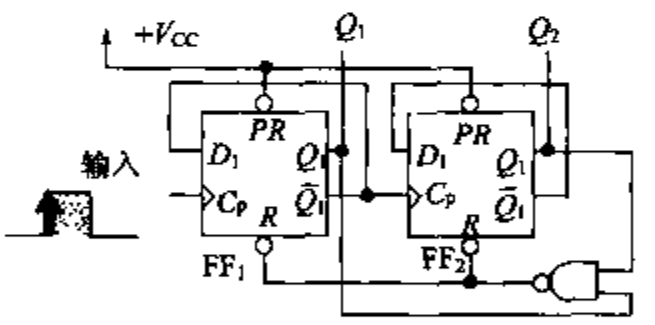
小明 用一个或门电路，在第三个时钟来到时使触发器复位。

异步三进制计数器的电路如下。



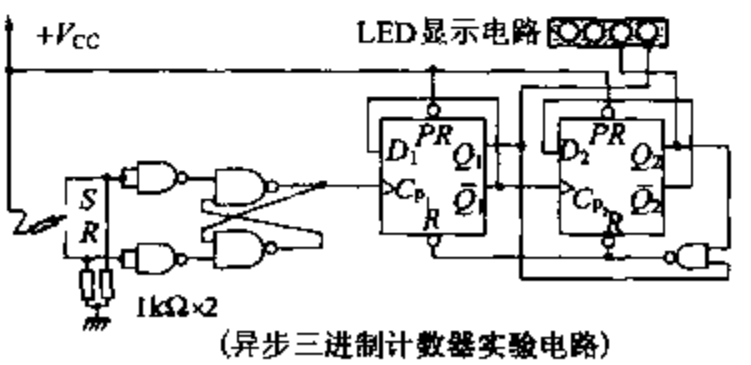
(异步三进制加法计数器)

小丽 复位用与非门时，用触发器 Q 输出端即可。电路如下。



(异步三进制加法计数器)

博士 在实验电路中输入时钟脉冲，用 LED 点亮来确认计数器的工作状态。



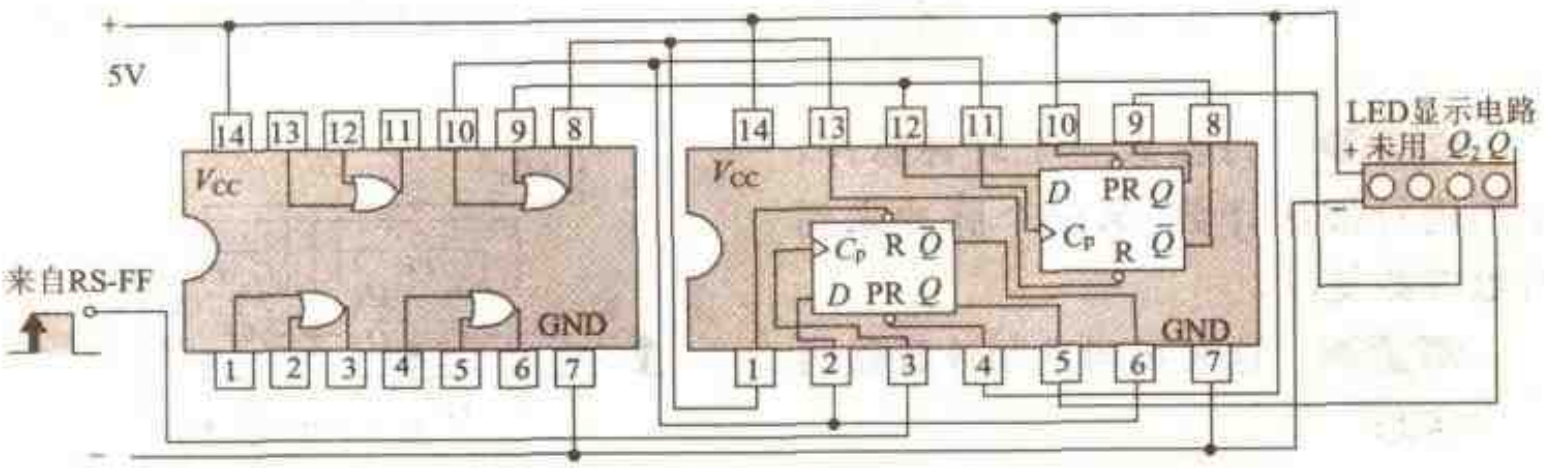
(异步三进制计数器实验电路)

请完成下述状态转换真值表。

脉冲	LED Q_2 Q_1
0	○ ○
1	○ ○
2	○ ○
3	○ ○
4	○ ○
5	○ ○



小丽　第三个时钟脉冲来到时，计数器复位。这就是三进制计数器的工作状态。



（异步三进制加法计数器实验电路）

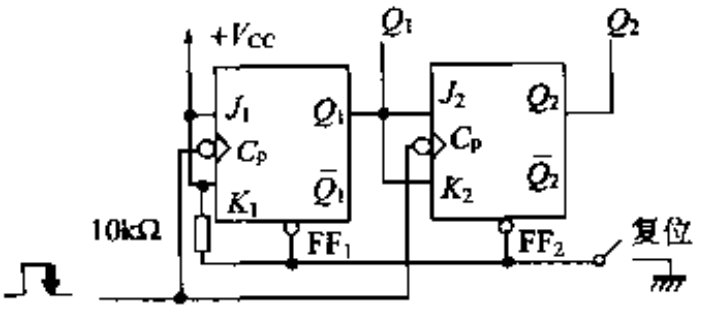
脉冲	LED Q_2 Q_1
0	○ ○
1	○ ●
2	● ○
3	○ ○
4	○ ●
5	● ○



同步四进制计数器

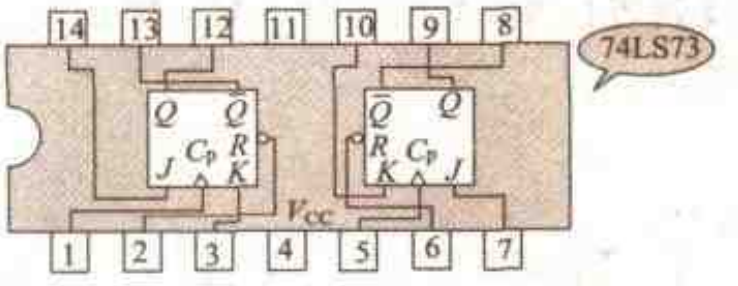
博士　下面做同步计数器的实验。用 2 个 JK-FF 制作同步四进制加法计数器。

小明　原理电路如下。

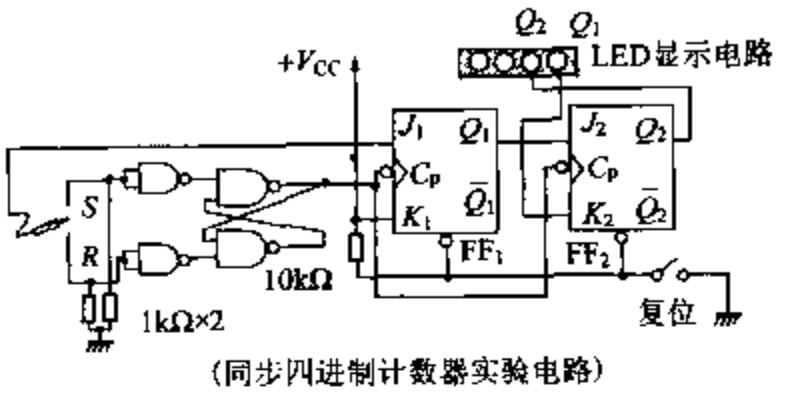


（同步四进制加法计数器）

博士　JK-FF 采用 TTL 的 74LS73。

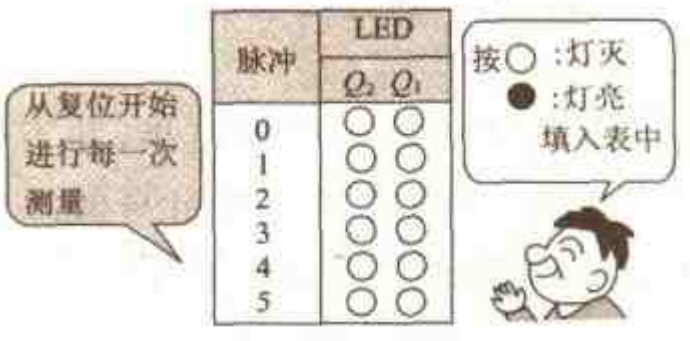


小明　制作好实验电路，开始做实验。



（同步四进制计数器实验电路）

博士 请完成下述状态转换真值表。



小明 由完成的状态转换真值表可知，每输入一个时钟脉冲，输出加计数，第四个脉冲来到时计数器复位。

小丽 这表示四进制计数器的工作状态。

博士 看起来与异步四进制计数器工作有些类似，但不同点是什么呢？

小丽 是这样，对于异步计数器，触发器接收前级来的信号后才反转，而同步计数器是在同一脉冲作用下，所有触发器一同反转。

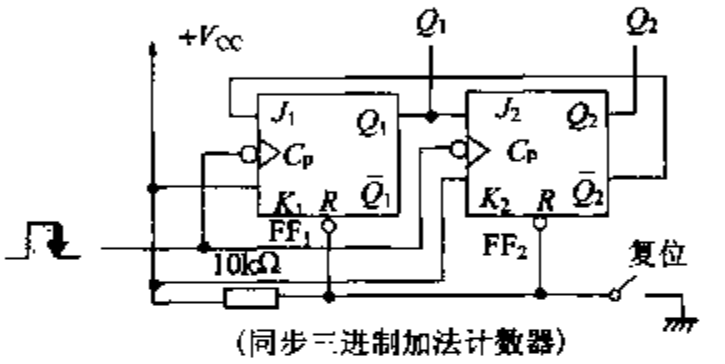


小丽 若增加级联触发器的级数，可以进行非常大数的计数。

同步三进制计数器

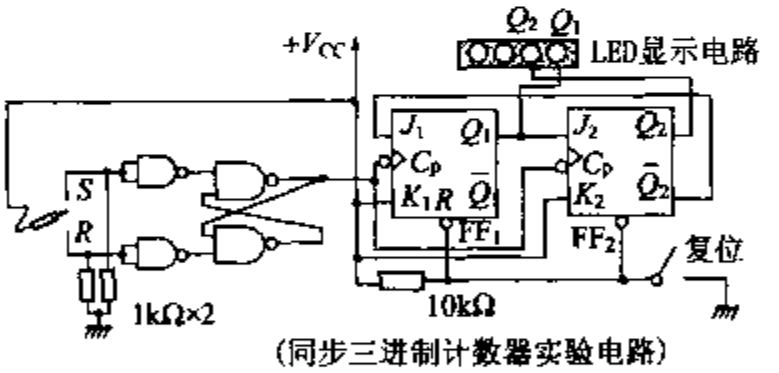
博士 将同步四进制计数器稍加修改，就可以构成同步三进制加法计数器。

小丽 同步三进制加法计数器原理电路如下。



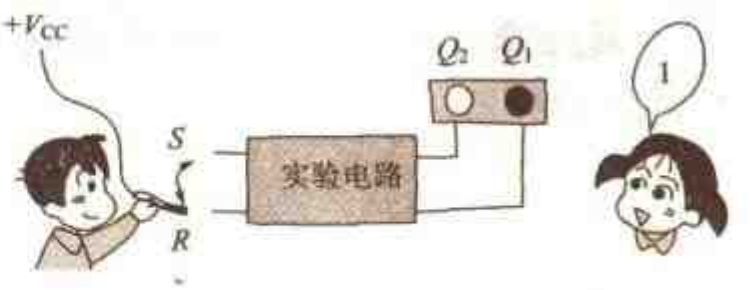
（同步三进制加法计数器）

制作的实验电路如下。

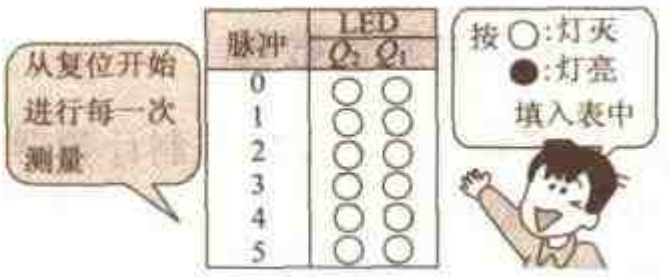


（同步三进制计数器实验电路）

博士 输入时钟脉冲使 LED 点亮，从而确认计数器的工作状态。



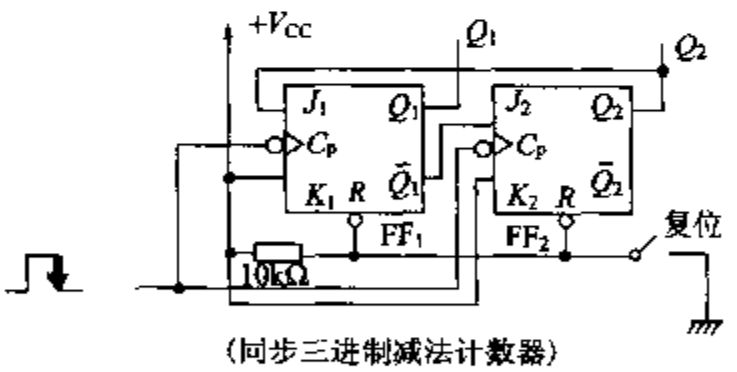
请完成下述状态转换真值表。



小丽　第三个脉冲来到时计数器复位，这就是三进制加法计数器的工作状态。



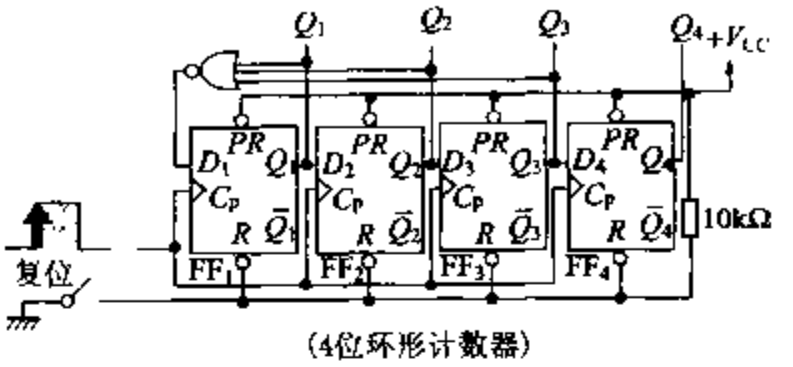
博士　稍微改变一下电路中接线，就变成减法计数器。请用实验确认其工作状态。



（同步三进制减法计数器）

环形计数器

博士　用 4 个 D-FF 可构成 4 位环形计数器。

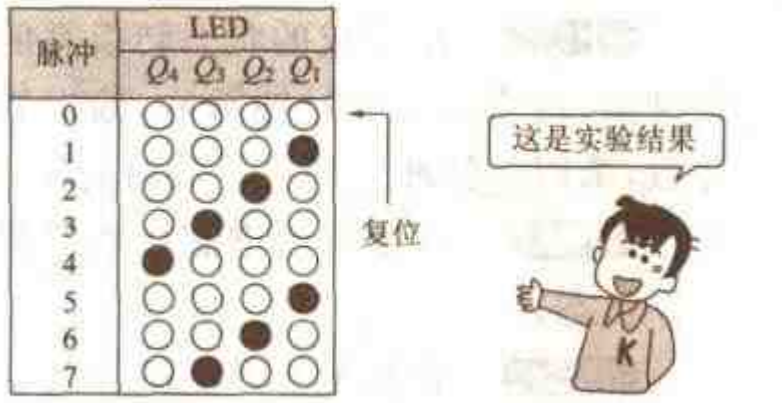


（4位环形计数器）

D-FF 使用 74LS74，3 输入或非门使用 74LS27。开始 R 端接地，触发器复位，然后，输入时钟脉冲。

小明　通过实验确认 1 个 1 循环。

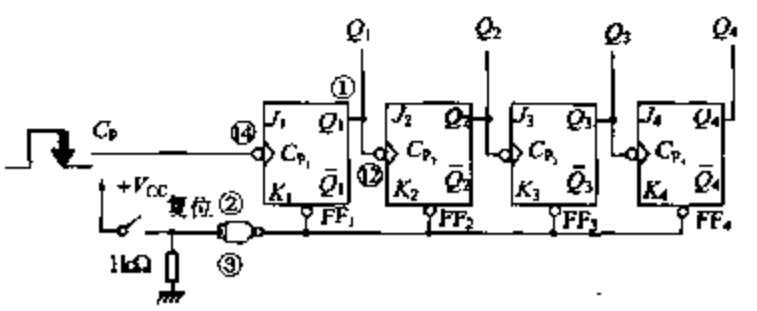
博士　得到实验结果，并不等于实验结束，请考虑电路自身的工作情况，与实验结果比较并进行分析。



练习题

问题 1　采用二进制加八进制计数器集成电路 74LS93 构成十六进制计数器，并用实验确认其工作状态。

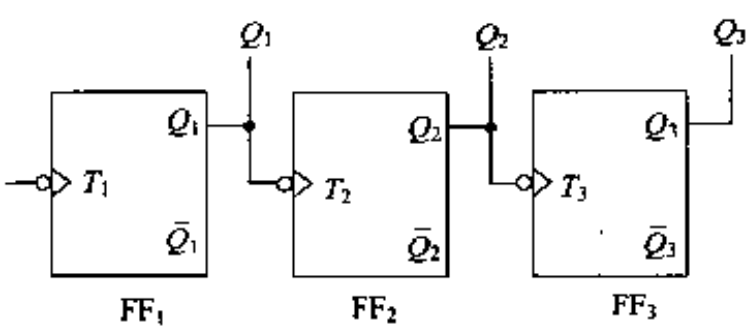
解答　制作的十六进制计数器电路如下（1 脚和 12 脚接在一起）。

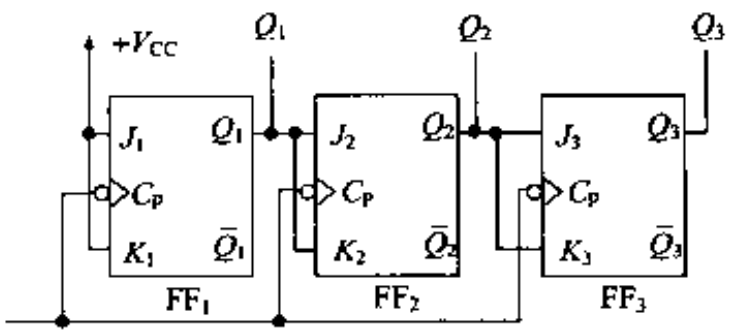


Q 挑战题页

(解答省略，参照本章内容)

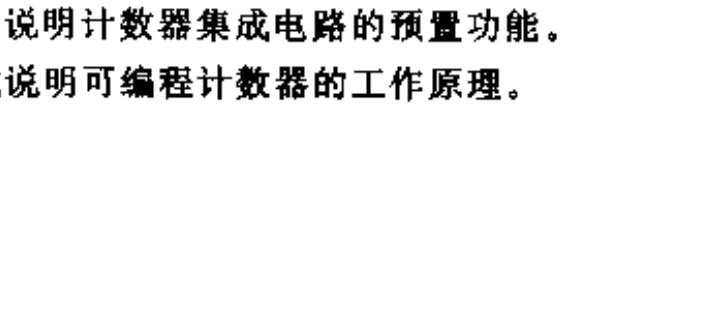
1. 使用下述电路，试说明同步与异步计数器的工作状态。(参见 p. 165)



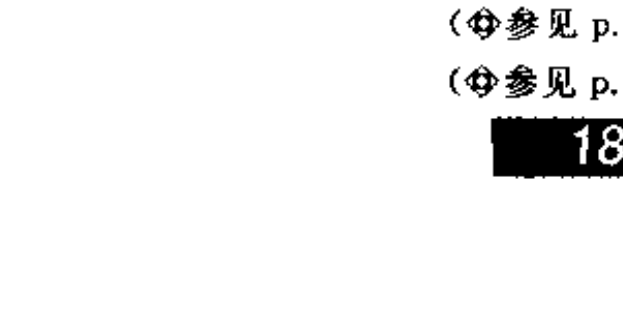


2. 使用下述电路，试说明加法与减法计数器的工作状态。(参见 p. 172)

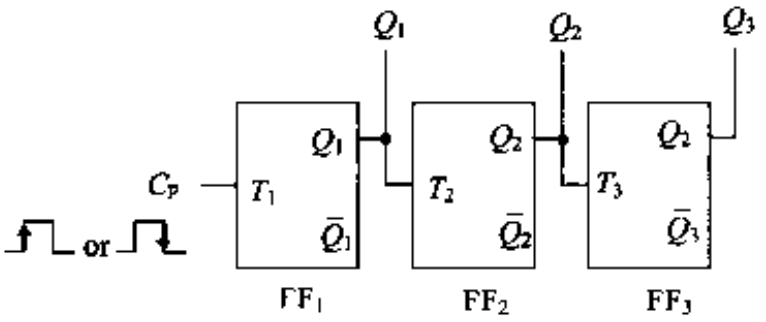
①



②

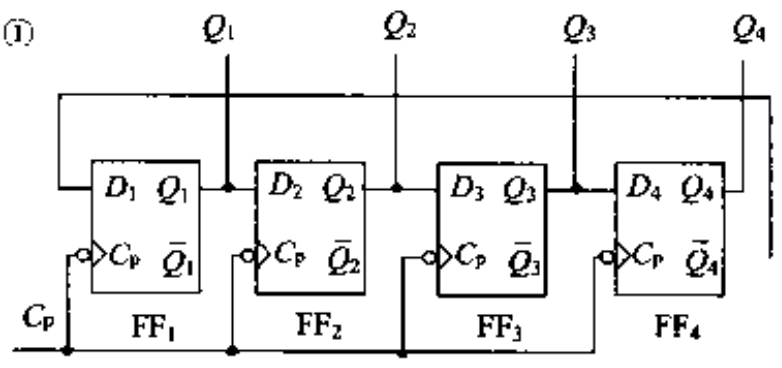


3. 在下述电路中，试说明采用脉冲上升沿与下降沿触发有效时工作状态的不同。(参见 p. 162)

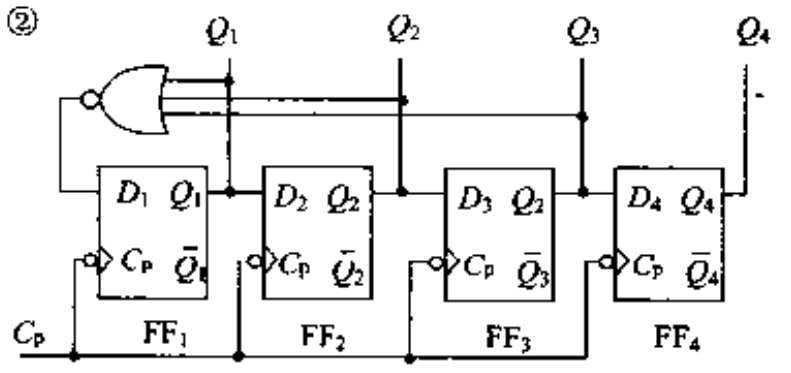


4. 下述计数器的名称是什么，并说明其工作状态。(参见 p. 177)

①



②



5. 何谓分频。 (参见 p. 166)

6. 试说明计数器集成电路的预置功能。 (参见 p. 165)

7. 试说明可编程计数器的工作原理。 (参见 p. 180)

A 答　案

2. ①同步四进制加法计数器 ②同步四进制减法计数器

3. 若采用脉冲上升沿触发有效，则为八进制减法计数器；若采用脉冲下降沿触发有效，则为八进制加法计数器。

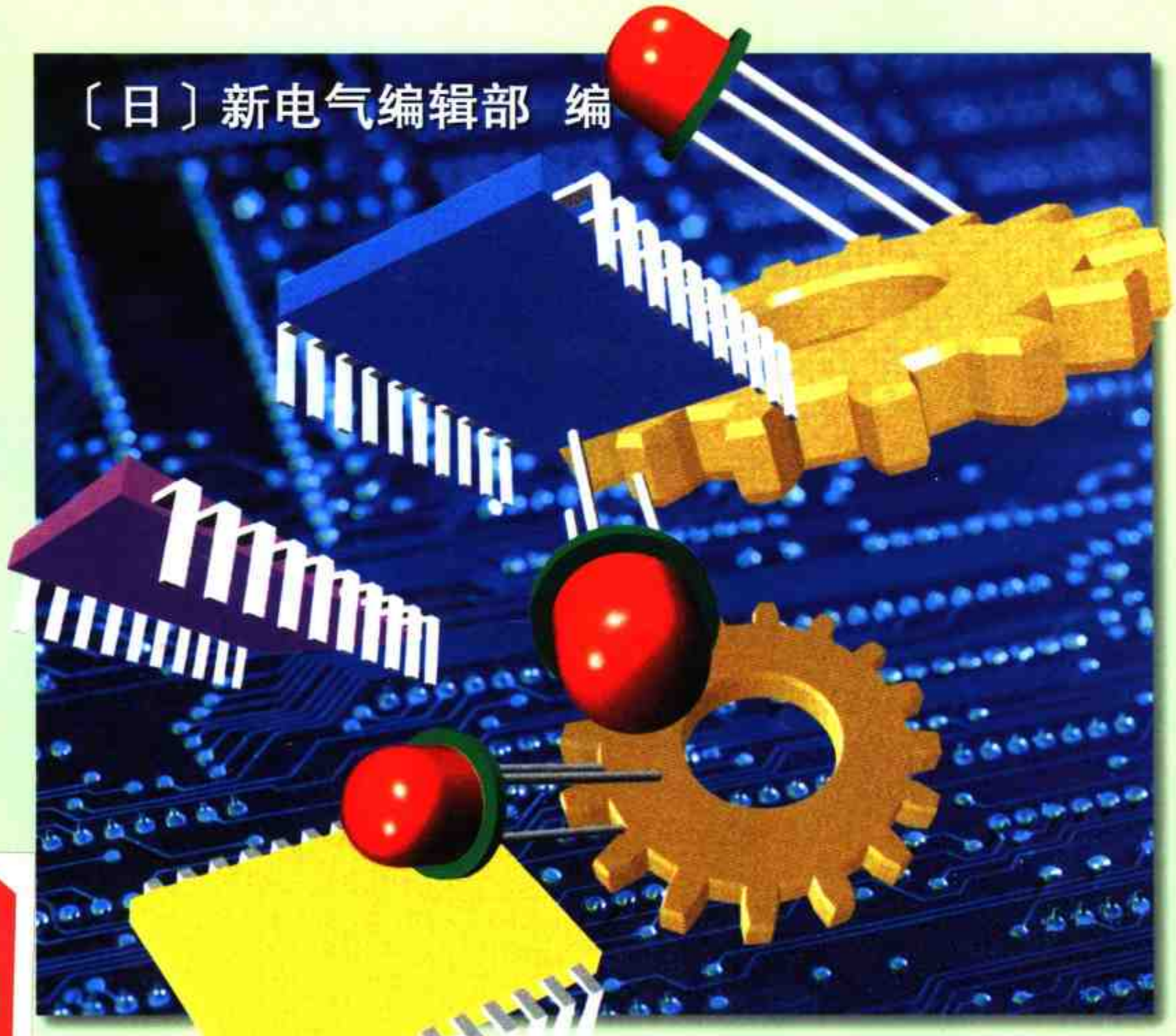
[General Information]
书名=book_11119014
作者=
页数=188
SS号=11119014
出版日期=

封面
书名
版权
前言
目录
目　　录
第 1 章　　数字电路的基础理论
1．数字方式与模拟方式
2．二进制数
3．基本门电路（1）
4．基本门电路（2）
5．逻辑函数表达式
6．文氏（Ｖｅｎｎ）图
7．卡诺图
8．逻辑电路的设计
9．实践
Q挑战题
第 2 章数字集成电路
1．ＴＴＬ与Ｃ－ＭＯＳ
2．使用集成电路注意事项（1）
3．使用集成电路注意事项（2）
4．接口功能
5．规格表的使用
6．实践
Q挑战题
第 3 章运算电路
1．加法电路
2．减法电路
3．乘法和除法电路
4．编码器与译码器
5．多路复用器和反多路复用器
6．实践
Q挑战题
第 4 章脉冲电路
1．多谐振荡器（1）
2．多谐振荡器（2）
3．施密特触发器
4．实践
Q挑战题
第 5 章存储器电路
1．ＲＳ触发器
2．各种类型的触发器
3．移位寄存器
4．实践
Q挑战题
第 6 章计数器电路
1．计数器结构
2．异步 n 进制计数器
3．同步 n 进制计数器
4．各种计数器
5．实践
Q挑战题

OHM 电子爱好者读物

电子机械入门

〔日〕新电气编辑部 编



科学出版社
www.sciencep.com

(TN-0464.0101)
责任编辑　崔炳哲
责任制作　魏　谨
责任印制　刘士平
封面设计　李　力

◇◇◇◇◇◇◇ 内　容　简　介 ◇◇◇◇◇◇◇

“OHM电子爱好者读物”系列共有6本，涉及电子电路、电子机械、电子控制、数字电路、机电一体化、电子技术等。本系列以初学者为对象，以实用技术为重点，利用丰富的插图，甚至建立模拟教室以对话的形式、通俗易懂地介绍相关内容。阅读本系列的读者最好边学习边实践，以使所学知识变成自己有用的技能。

本书是“OHM电子爱好者读物”之一，第1章主要介绍控制方面的基本知识；第2章以铁路模型的控制为例，介绍有关的继电器、传送带、步进电动机等的控制；第3、4章则介绍发光二极管的点亮、熄灭控制及自动演奏、机器人、交通信号等的控制，以及有关个人计算机控制的基础理论。

本书适合作为职业技术类教材，亦可作为企业技术人员的初级培训用教材。

OHM 电子爱好者读物

电子电路入门

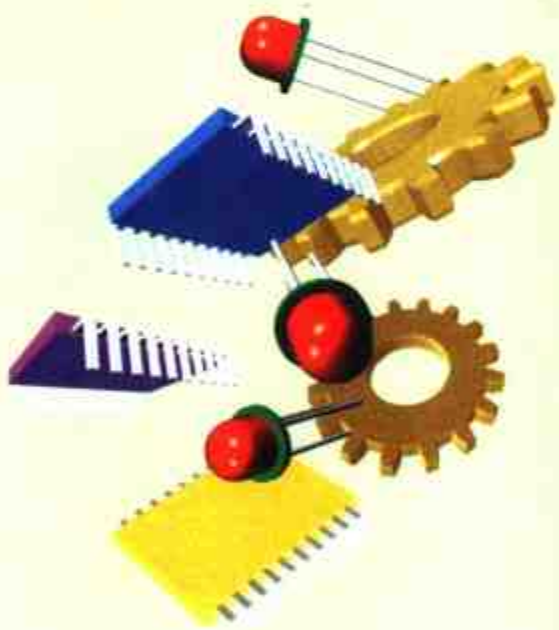
数字电路入门

电子机械入门

电子电路与电子技术入门

电子控制入门

机电一体化入门



ISBN 7-03-011181-8
9 787030 111814 >

ISBN 7-03-011181-8
定　价: 23.00 元

OHM电子爱好者读物

电子机械入门

日本新电气编辑部　编
徐其荣　译
郑佩玉　校

科学出版社
北京

图字：01-2003-0412 号

Original Japanese language edition
Hajimete Manabu Denshi Kikai Nyumon Hayawakari
Edited by Shindenki Henshubu
Copyright © 2000 by Ohmsha, Ltd.
Published by Ohmsha, Ltd.
This Chinese version published by Science Press, Beijing
Under license from Ohmsha, Ltd.
Copyright © 2003
All rights reserved

初めて学ぶ
電子機械入門早わかり
オーム社　2000

图书在版编目(CIP)数据

电子机械入门/(日)新电气编辑部编；徐其荣译、郑佩玉校. - 北京：科学出版社，2003
(OHM 电子爱好者读物)

ISBN 7-03-011181-8

Ⅰ.电…　Ⅱ.①新…②徐…③…郑…　Ⅲ.电子机械-基本　Ⅳ.TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 011110 号

责任编辑　崔炳哲　　**责任制作**　魏　谨
责任印制　刘士平　　**封面设计**　李　力

科学出版社　出版
北京东黄城根北街 16 号　邮政编码：100717
http://www.sciencep.com
源海印刷有限责任公司 印刷
北京东方科龙图文有限公司　制作
http://www.okbook.com.cn
科学出版社发行　各地新华书店经销

2003 年 5 月第　一　版　开本：B5(720×1000)
2003 年 5 月第一次印刷　印张：11 1/2
印数：1-5 000　　字数：252 000

定　价：23.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换(新欣))

前言

所有的产业都涉及到电子技术，也使控制技术得到了充分利用，各种机械或装置都在推广使用电子技术、信息技术来进行控制。所以不论从事何种行业，都必须掌握与控制技术有关的基础知识和技术。

本书主要是为工科类高职、高专的师生或企业中的技术人员学习“电子机械”和“电子控制”基础知识而编写的。

第 1 章的目的是为学习控制知识打下牢固的基础；第 2 章介绍微机控制基础，以铁路模型控制为例，介绍有关的继电器、传送带、步进电动机等的控制；第 3 章、第 4 章则介绍发光二极管的点亮、熄灭控制及自动演奏音乐、机器人、交通信号等的控制，以及有关个人计算机控制的基础理论。

在编写本书过程中，特别注重以下三点：

1. 控制技术留给人们的印象是很难学的，所以特别注重讲解上的简明易懂。

2. 使用了大量的图表，加强了学习的趣味性，并且在图中加入了说明文字，可起到一目了然的效果。

3. 学习内容不局限在理论上，而是通过实际制作，使其“动”起来，以加强学习效果。

因此，读者在学习本书后，通过组装电路的实践，就能把有关知识、技术真正学到手。

希望通过对本书的学习，能牢固地掌握电子机械的基础知识，并在各种不同的专业领域发挥作用。

全国工业高等学校校长协会，顾问　岩本　洋

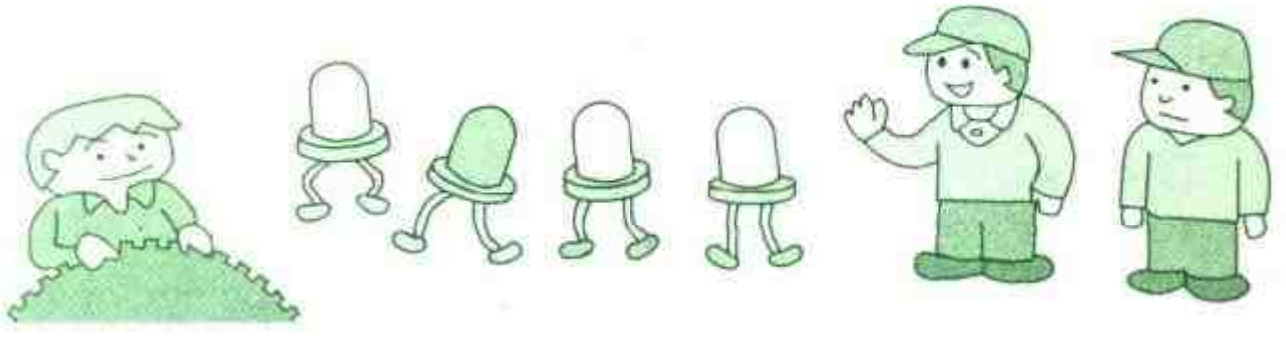
另外，本书的执笔分工如下：

第 1、第 2 章　东京都立藏前工业高等学校，教师　天野一美

第 3、第 4 章　东京都立藏前工业高等学校，教师　堀桂太郎

第 3、第 4 章　原东京都立藏前工业高等学校，教师　森田克己

目　录

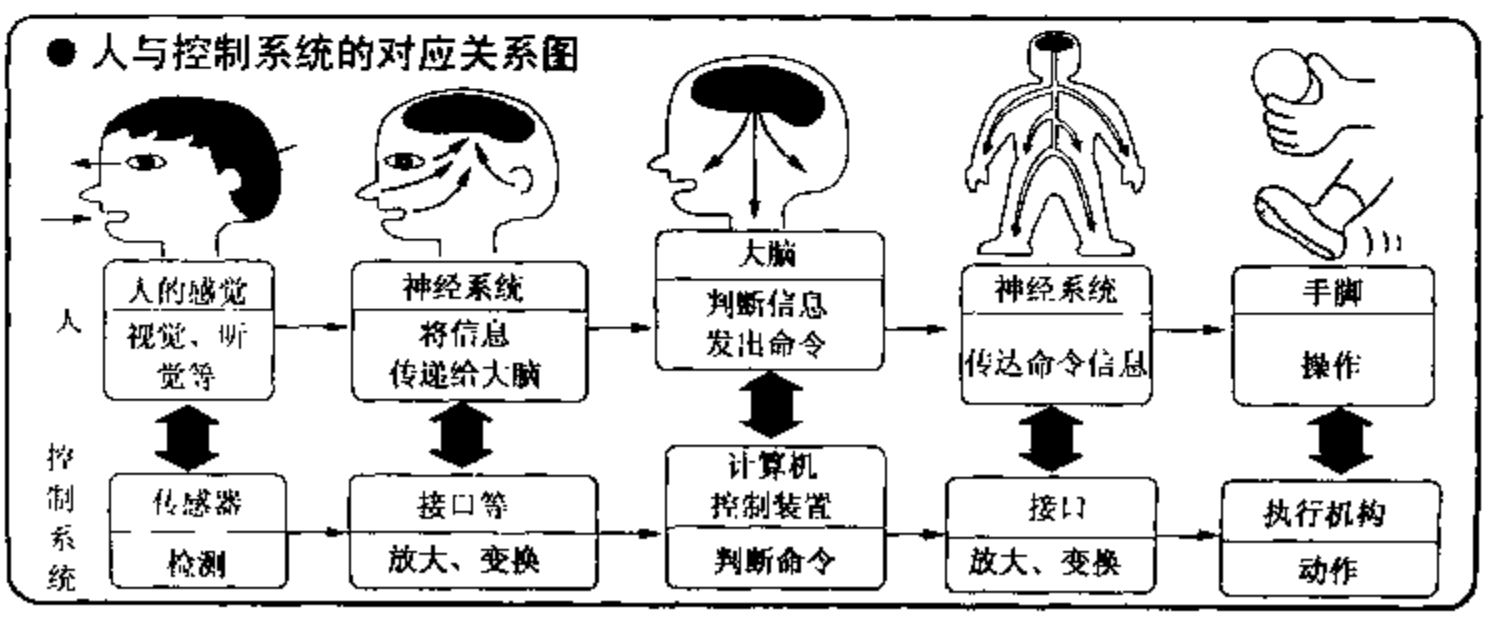


第1章 控制的基础知识 1

1 电子电路与控制的关系 …… 2
2 使用传感器的简单电子电路 …… 9
3 执行机构的驱动电路 …… 15
4 顺序控制的定义 …… 21
5 反馈控制 …… 29
6 模拟控制与数字控制 …… 37
7 数字控制与逻辑电路 …… 44
8 微机与微机控制 …… 50
9 微机与信号流 …… 57
10 接口的作用 …… 63
11 输入用外部接口的作用 …… 69
12 输出用外部接口的典型作用 …… 75

第2章 简单控制入门 79

1 模型电车的开动 …… 80



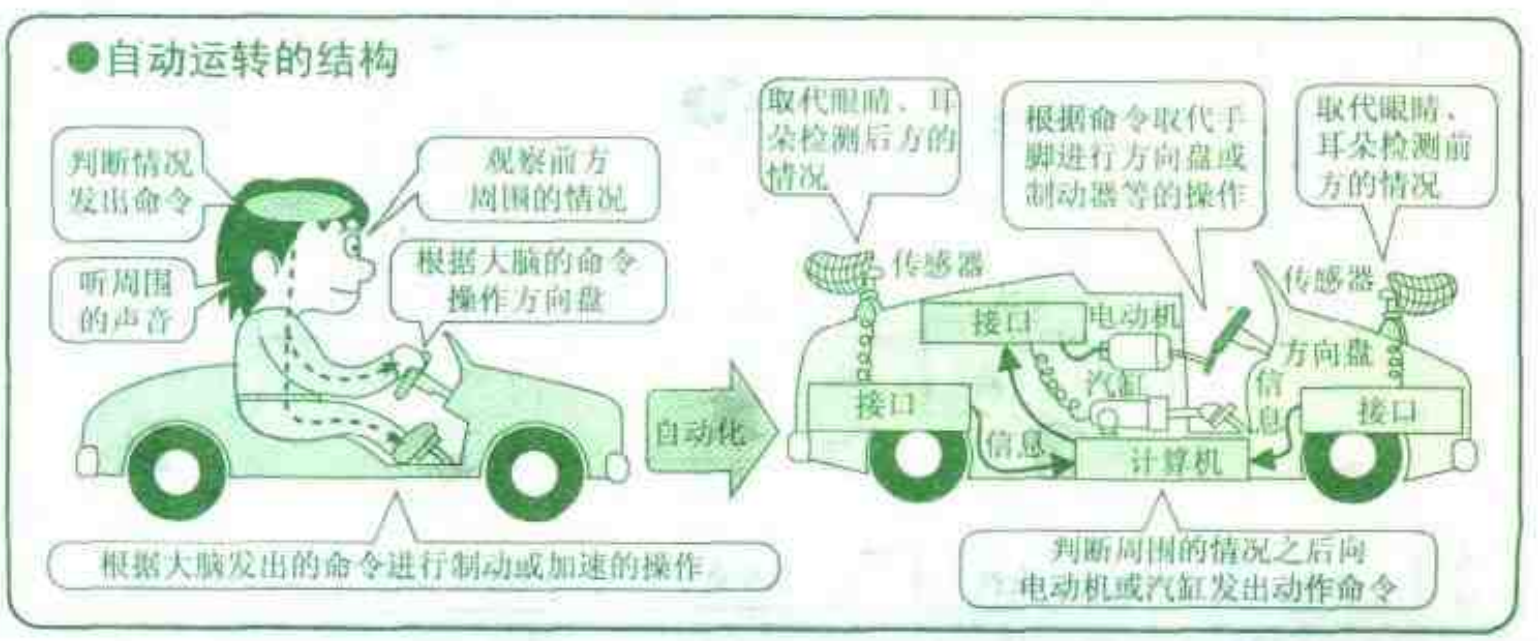
2 模型电车在站台处的停靠 …… 86
3 铁路模型的控制 —简单控制 …… 93
4 铁路模型的控制 -- 使用定时器等 …… 99
5 微机控制(1) 用发光二极管确认输出 …… 104
6 微机控制(2)——用按钮开关来输入 …… 110
7 微机控制(3) 使用继电器 …… 117
8 微机控制(4) 简单控制 …… 123
9 微机控制(5) --使用步进电动机的控制装置 …… 129
10 微机控制(6) —步进电机的往复控制装置 …… 136
11 微机控制(7) 铁路模型的控制 I …… 143
12 微机控制(8)--- 铁路模型的控制 II …… 149

第3章 使用个人计算机的简单控制入门(基础篇) 156

1 制作接口 …… 157
2 LED 接口监视器 …… 172
3 LED 的点亮、熄灭控制 I …… 178
4 LED 的点亮、熄灭控制 II …… 184

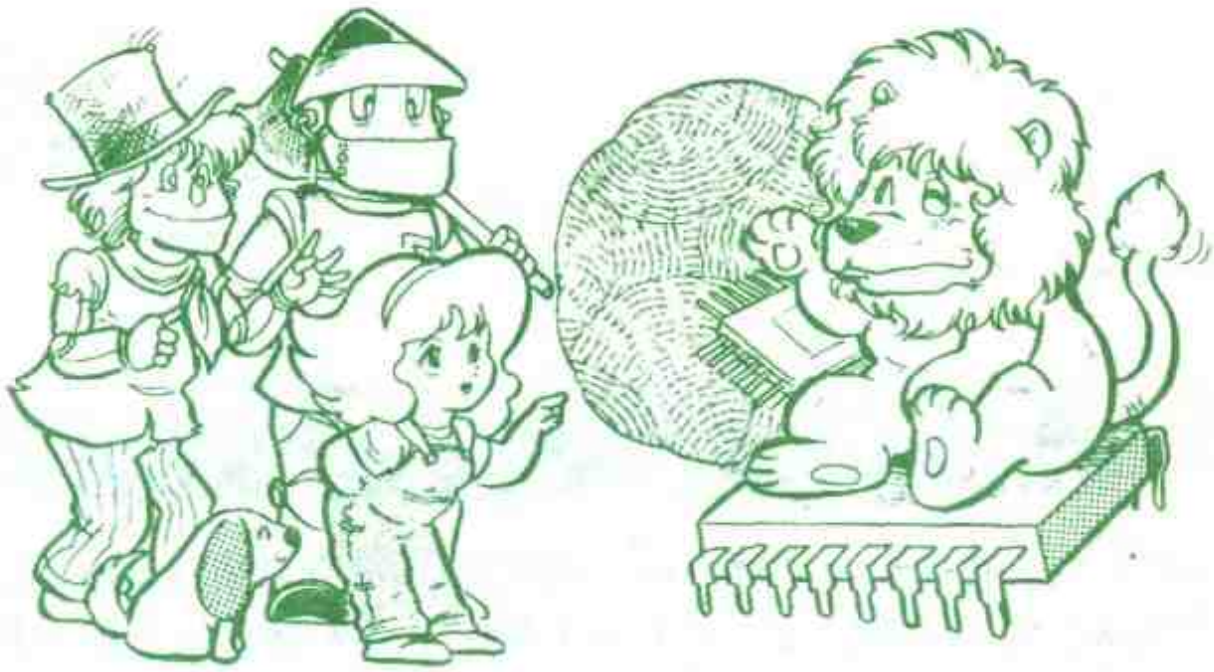
第4章 使用个人计算机的简单控制入门(应用篇) 190

1 键盘控制的音乐自动演奏系统 …… 191
2 用模/数(A/D)转换的室温控制系统 …… 200
3 汽缸控制的气动机器人系统 …… 208
4 用继电器控制的交流 100V 交通信号灯控制系统 …… 217



第1章

控制的基础知识



本章的学习内容

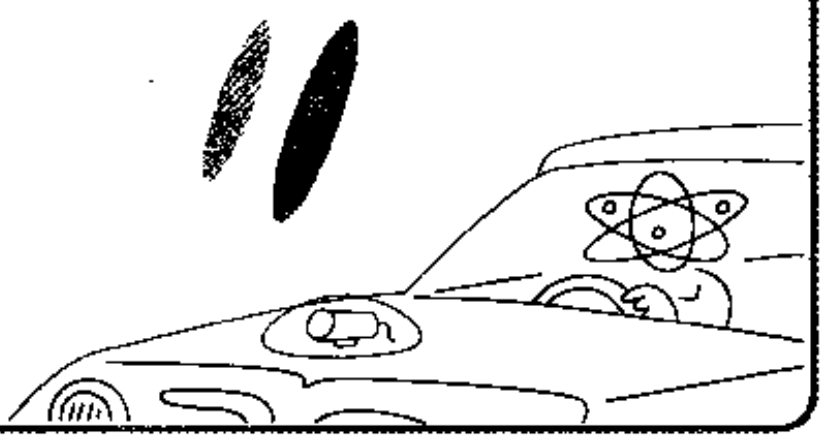
站在门前，等待门自动打开，当发现不是自动门时，总有点不太习惯的感觉，这大概是由于我们的思维已习惯了生活上的自动化所造成的。自动聚焦照相机、全自动洗衣机、自动售货机等等，都已经自动化了。

所谓自动化，就是用机械装置代替手工来进行操作。因此，可把自动化所用的方法称为自动控制或简称为控制。由于社会劳动力紧缺等种种需要，更加促使人们向机械装置的自动化方面去研究解决问题的办法。

向自动售货机里投入硬币，按下按钮，所需要的物品就会自动送出来。在不知不觉之中，自动售货机就完成了一系列的工作。其控制看起来挺复杂，但把它分解为一道道工序来处理，就成了简单的基本动作的叠加，从而轻而易举地进行控制处理。学会了控制的基础知识，就不难理解其中的奥妙。

这一章将介绍顺序控制、反馈控制等控制方法以及传感器与执行机构等相关装置的基础知识。

1 电子电路与控制的关系



1 控制的定义

人长时间驾驶汽车会感到疲劳，所以就产生了能否自动驾驶的想法。那么用什么办法来实现自动驾驶呢？先用表 1 与图 1 对人驾驶汽车的动作进行一下分析。

表 1　人与控制系统的对应

人	人的感觉 视觉、听觉等	神经系统 将信号传递给大脑	大脑 判断信息发出命令	神经系统 传达命令信息	手脚 操作
控制系统	传感器 检测	接口等 放大、变换	计算机控制装置 判断命令	接口 放大、变换	执行机构 动作

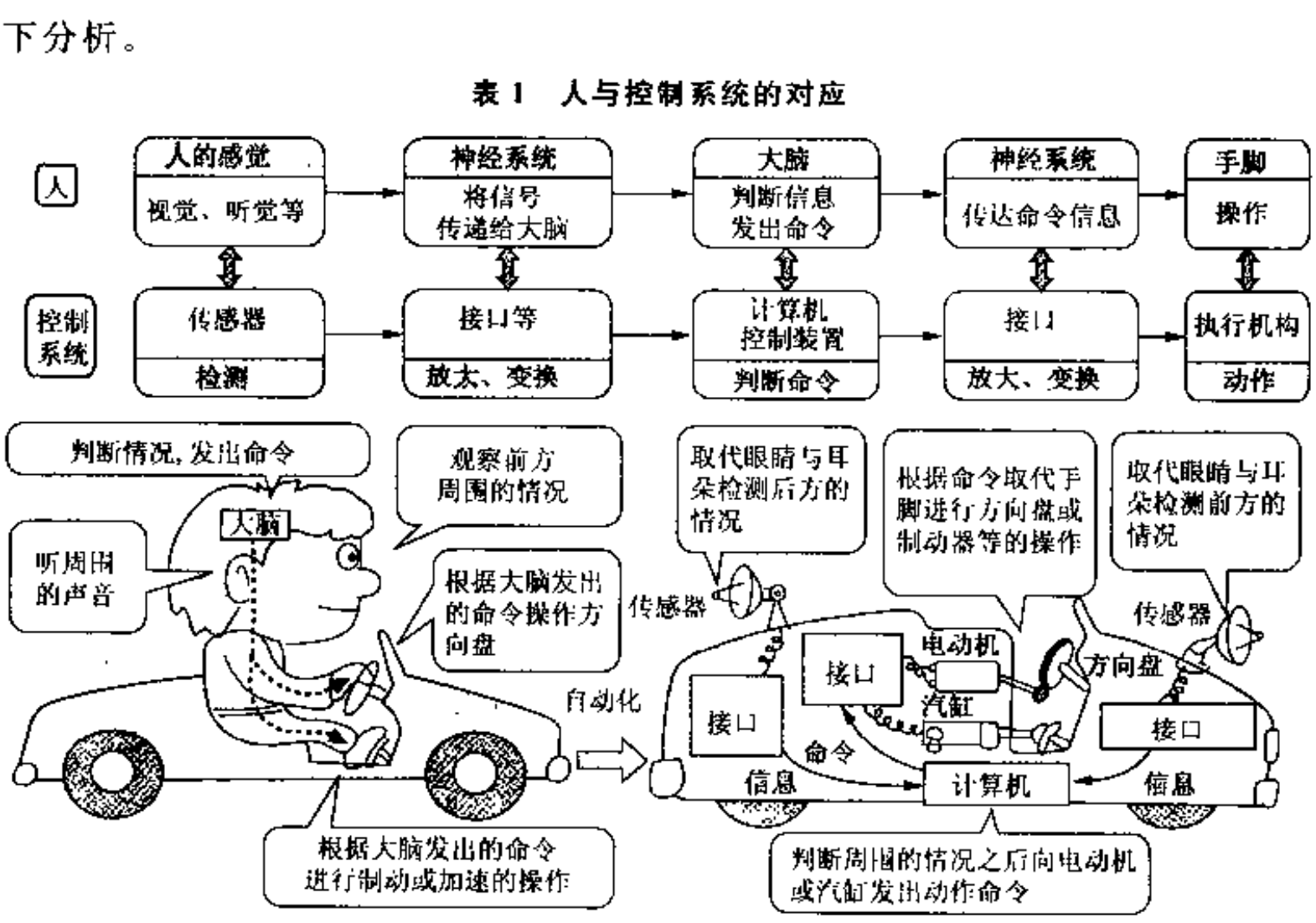


图 1　自动驾驶的结构

首先，驾驶员要目视前方并时时注意内外后视镜，看清后方与两侧的情况；然后，用耳朵倾听周围是否有消防车、救护车等的特殊声音；把眼睛、耳朵所获得的信息经大脑进行综合判断，再向手、脚发出驾驶命令。根据命令决定踏制动器或调节油门、控制速度，并转动方向盘，来防止发生行车事故。把这些操作交给机械或装置来完成，就称为自动控制，或简称控制。

当汽车的前方突然有人跑过时，必须迅速踏制动器。为了检测这种特殊情况，就要在控制中使用电子电路。由于电子技术的快速发展，提高了电子电路的性能，缩小了体积，易于用在控制装置中，从而使照相机、洗衣机和加工机械等各个方面的自动控制都得到迅速发展。

Ⅱ　传感器的定义

由表 1 和图 1 可知，**传感器**是对应人的感觉器官的。JIS(日本工业标准)中对传感器的定义为“用于实现感觉功能的检测元件”。

Ⅲ　传感器感觉功能的定义

所谓感觉功能就是用眼睛看、用耳朵听，使用感觉器官来收集信息(数据)的功能。“驾驶汽车过程中，能见到前方的障碍物”，开始见到障碍物时，还不能判断是不是障碍物。再集中注意力观看，收集到更多的该物体的数据，传送到脑子里，就能判断出障碍物了。这种不能在瞬间判断的情况对驾驶员来说，是致命的问题。

所谓的控制用感觉功能，就是以操纵机械或装置为目的来收集信息的功能。

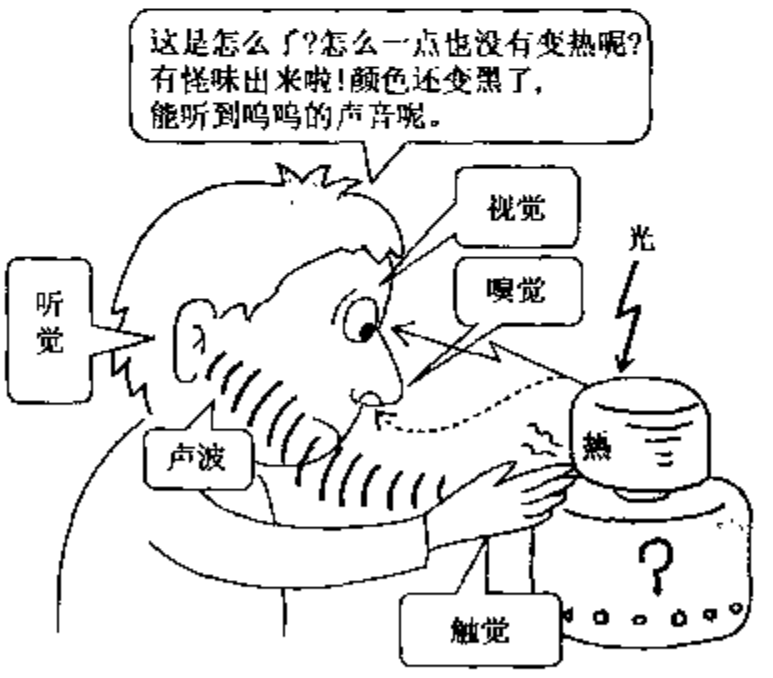


图 2　靠人的感觉收集信息

Ⅳ 检测元件的定义

所谓检测元件，就是用来检测各种各样信息的元件。其检测方法多种多样，可以是原封不动地检测所需要信息的本身，也可以检测载体的存在与否，或检测载体的变化等。图2及表2表示人的感觉所检测的内容。

表2 人的主要感觉与载体

感觉	载体	感觉器官	信息内容
视觉	光	眼睛	颜色、形状、亮度等
听觉	声波	耳朵	声音(高低、大小等)
触觉	位移、压力	皮肤	表面状态、压力
	热	皮肤	热的、冷的

用眼睛检测时，物体在视网膜上成像。视网膜由视觉神经细胞构成，相当于照相机的底片，也就是所谓的检测元件。每只眼睛约有12亿个视觉神经细胞，可观察人类生活中的方方面面(参见图3)。

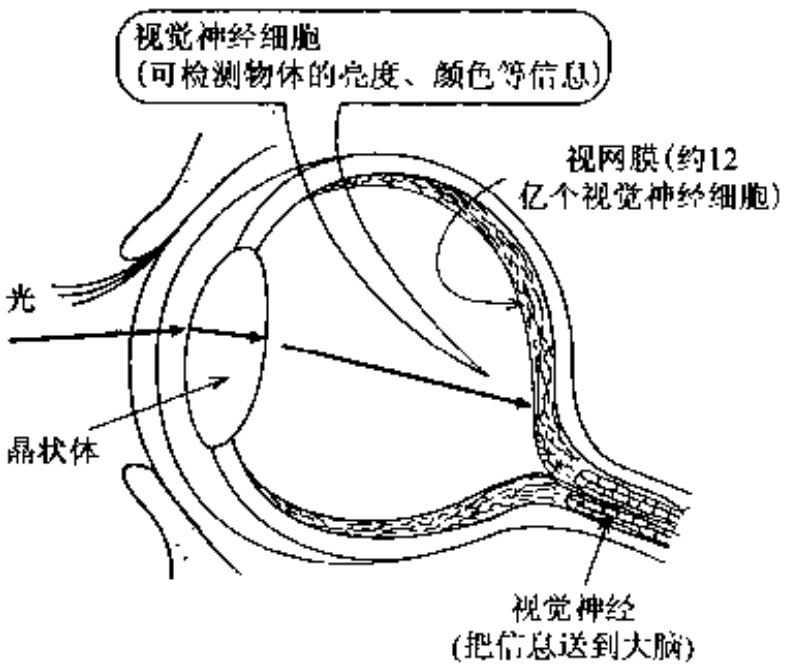


图3 眼睛的结构

Ⅴ 检测元件的种类

检测元件即传感器有下列种类：

光传感器 不仅能检测可见光，而且还能检测紫外线、红外线等

磁传感器 应用磁性作用的传感器。

温度传感器 检测热与热的辐射。

压力传感器 检测压力与压力所引起的应变(变形)。

气压传感器 利用气压的特性来检测。

除此以外还有很多种类的传感器，另外还有许多传感器正处于开发阶段。

Ⅴ 光传感器的定义

光传感器是把光(包括紫外线和红外线)信号转换为能被接收的电信号的元件。

从原理上又可分为：

① 接收光后使电阻改变的元件：硫化镉(CdS)光导管。

② 接收光后产生电势的元件：光电二极管、光敏三极管、光电池等。

③ 接收光后产生热量的元件：热电传感器等。

下面对光导管及光电二极管进行介绍。

Ⅵ 光导管(CdS)

如图 4 所示，硫化镉薄膜受到光照后，电阻就会减小，此薄膜被称为光导电膜。再设置两个隔离的电极，就可以作为光传感器使用(膜的厚度小于 0.2mm)。图 5 为传感器的原理图。

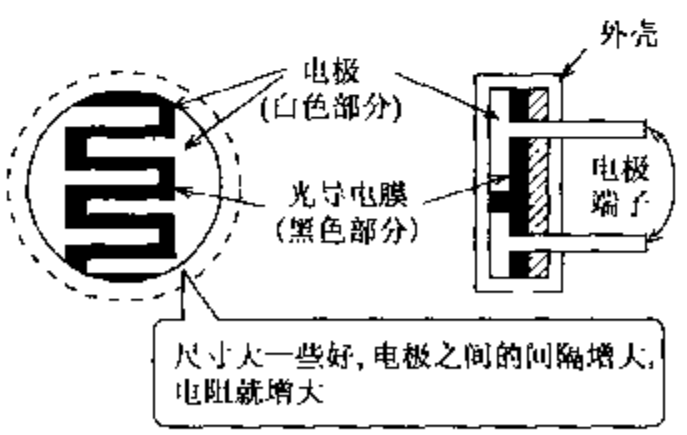


图 4 光导管的构造

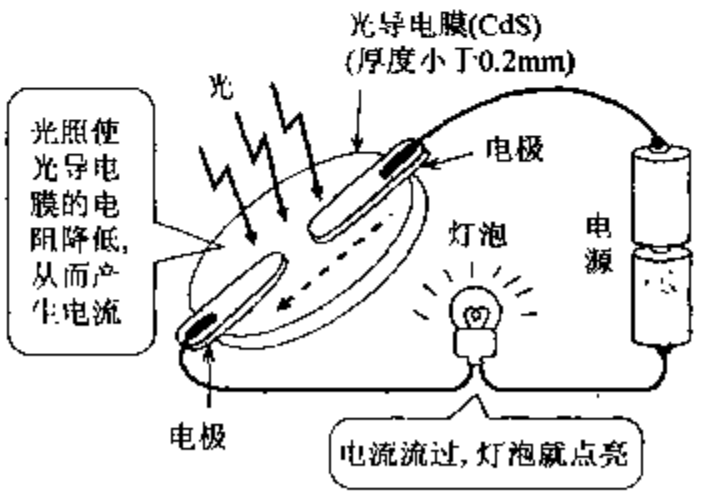


图 5 光导管的原理

光导管的特点：

① 在光通量与电阻的对数坐标上呈线性关系；

② 对黄绿色的光灵敏度最高；

③ 动态响应差(不能检测荧光灯的闪烁)。

Ⅷ　光电二极管(半导体传感器)

若在普通的二极管上施加反向电压、光照，则会使二极管上流过反向电流(参见图 6)。

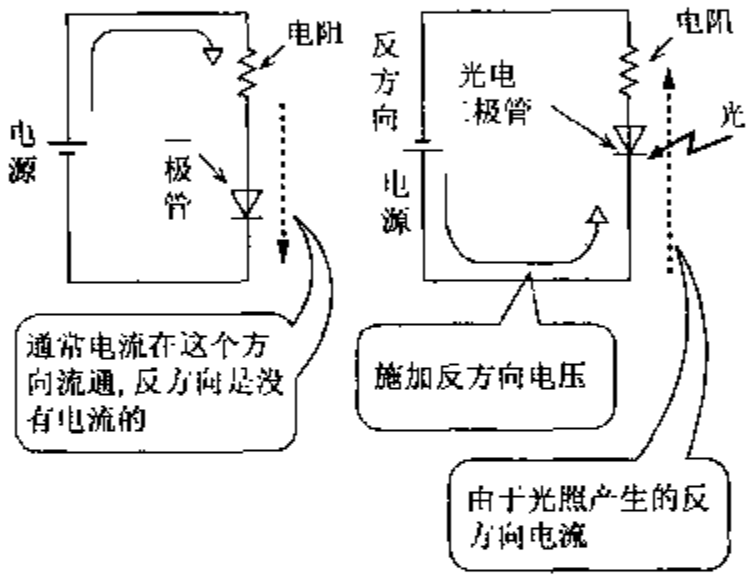


图 6　光电二极管的原理

其特性如下：

① 反向流动的输出电流小；

② 敏感波长为 400～2 000 nm (1nm＝10^{-9}m)，从紫外线到红外线的光谱范围均能检测，最高灵敏度在 850 nm 附近；

③ 响应速度在 μs(10^{-6}s)级，具有高速响应的特性；

④ 发光量与检测电流成正比，线性范围大，可用于发光量的检测与颜色的识别。

光电二极管的缺点是输出电流小。如图 7 所示，要用晶体管等器件来放大。把光电二极管和晶体管做成一体的元件就是光敏三极管。

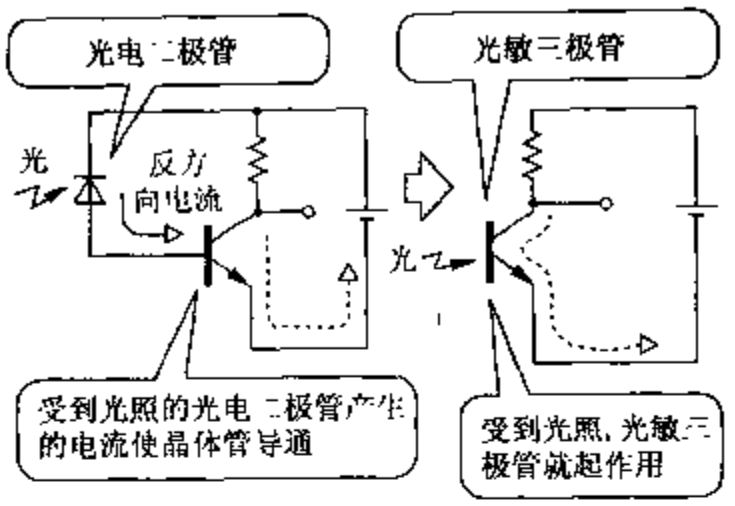


图 7 光敏三极管的原理

Ⅸ 温度传感器的定义

温度传感器已在空调、电熨斗、电冰箱等家用电器中广泛使用。那么，什么是温度传感器呢？下面列出几种测量方法（括号内表示测量范围）加以说明：

① 利用加热引起的电阻变化检测温度：如热敏电阻（－50～350℃），铂（－200～640℃）；

② 利用热膨胀检测温度：如双金属片（ 50～500℃），水银（－50～650℃）；

③ 利用热电势检测温度：如铜-康铜热电偶（ -240～1 200℃）；

④ 利用辐射检测温度：双色式（200～3 500℃）、单色式（100～3 000℃）。

Ⅹ 热敏电阻的定义

热敏电阻是由金属氧化物烧结合金构成的半导体检测元件，其电阻随着温度变化而变化（参见图 8）。其特性为：

① 根据用途可将热敏电阻做成各种不同的形状；

② 灵敏度高，响应速度快；

③ 价格低廉；

④ 可通过设计合理的电路和最佳的安装方法来提高测量精度。

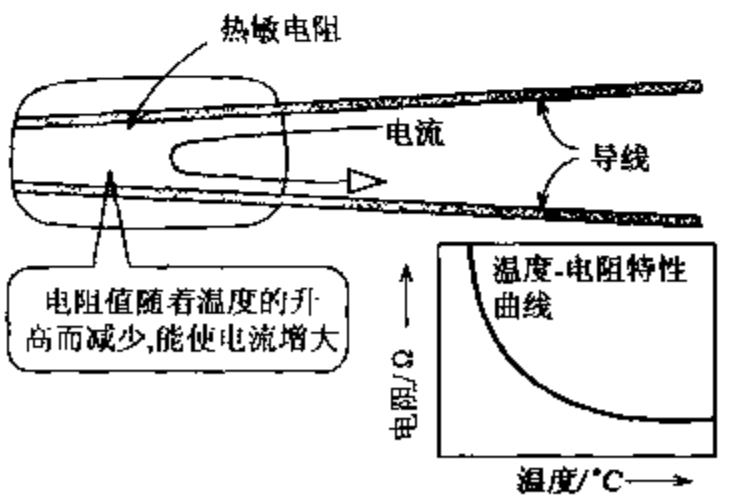


图 8 热敏电阻原理图

XI　磁传感器的定义

以磁性作为信息载体，可用于检测移位、转速、有无物品等。有一种磁传感器是利用霍尔效应做成的(参见图 9)。

在砷化镓半导体(霍尔元件)上，当有电流通过时，在垂直于电流的方向上产生电势差(霍尔电势)。电势差的大小与电流和磁场强度的乘积成正比，而与物体沿磁场方向的厚度成反比。

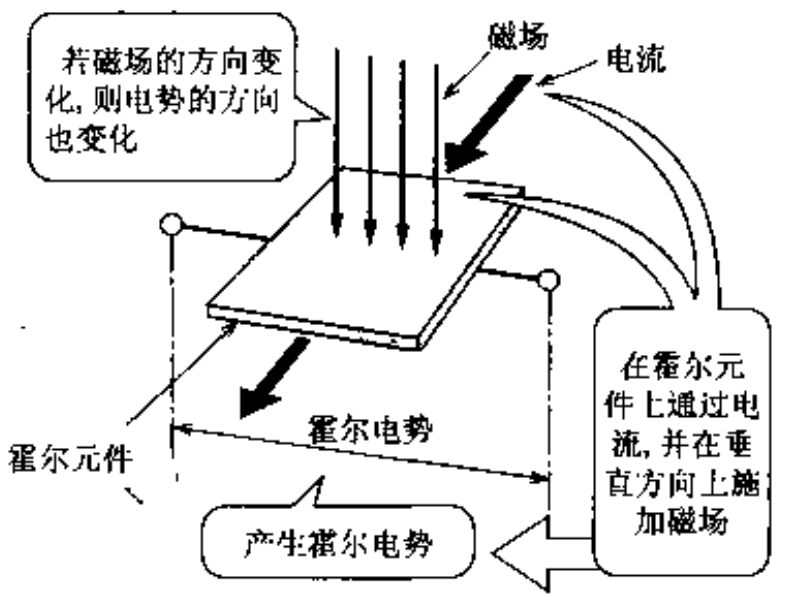


图 9　霍尔效应原理图

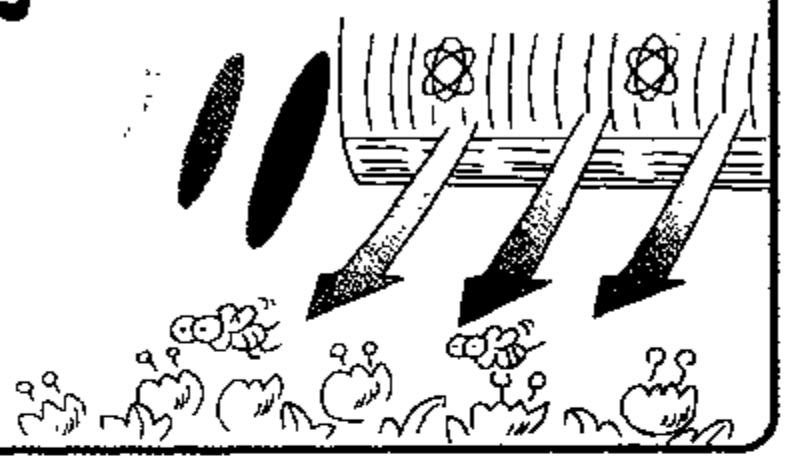
练习题

1. 传感器有什么作用?
2. 路灯的自动开关，要用何种传感器?
3. 热敏电阻以什么为信息载体? 它会随着温度改变发生什么变化?

解答

1. 根据机械与装置的使用目的，为所需的动作检测信息。
2. 使用光导管或光电二极管等光传感器。
3. 以热为信息载体，电阻随温度改变而变化。

2 使用传感器的简单电子电路



I 检测移动物体的电子电路

图 1 为用反射式光传感器检测移动物体的电路图。尽管发光二极管不断地发出光，但没有物体经过时，发光二极管的光不会反射到光敏三极管中，光敏三极管中也就没有光输入，因此继电器电路不工作。这个电路称为继电器的驱动电路。



图 1　检测物体的电路原理图

当有物体通过反射式传感器时，发光二极管发出的光被物体反射，反射光进入光敏三极管，于是，光敏三极管有电流通过，再由驱动电路放大，使继电器接点动作。

继电器是直流继电器，驱动电路所用的晶体管放大倍数为 100 倍左右。

Ⅱ　使用反射式光传感器的实际电路图

图 2 为使用反射式光传感器的电路图。现在来考察一下此电路的工作原理。

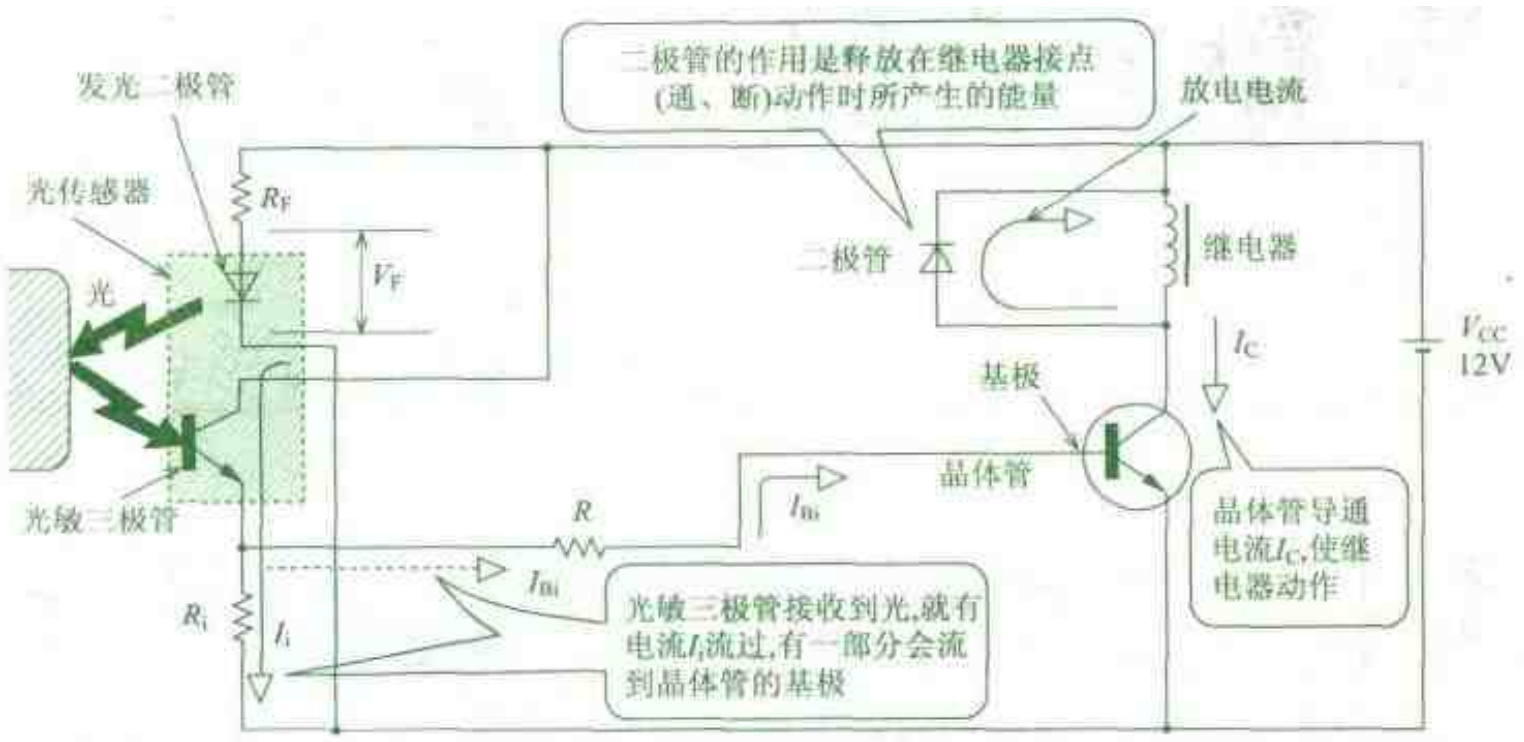


图 2　使用反射式光传感器的电子电路

假设有物体通过光传感器，光敏三极管接收到由物体反射的光，于是光敏三极管中的电流就沿着 $+V_{CC}$→光敏三极管→R_i→V_{CC} 流动。电阻 R_i 上产生的电压，施加在晶体管的基极上，分路电流作为基极电流 I_{Bi} 作用到晶体管上，基极电流 I_{Bi} 乘以放大系数所得到的电流 I_C 就能使继电器动作。当光敏三极管未流过电流时，因为没有电流，晶体管不会导通，所以继电器不动作。晶体管的电流放大系数是晶体管的固有特性，根据晶体管的种类不同而不同。用基极电流 I_B 与集电极电流 I_C 来计算放大系数：

$$\boxed{\text{电流放大系数}=\frac{I_C}{I_B}}$$

所以，$I_C=I_B\times$电流放大系数

另外，接在继电器两端的二极管用于吸收快速切断通过继电器线圈的电流时所产生的反电势，是保护晶体管用的元件。

若通过图 3 来计算 R_F 与 R_i 的值，可按下式：

$$R_F=(V_{CC}-V_F)/I_F$$

其中，若设 $V_{CC}=12V$，$V_F=1.5V$，$I_F=20mA=0.02A$，则

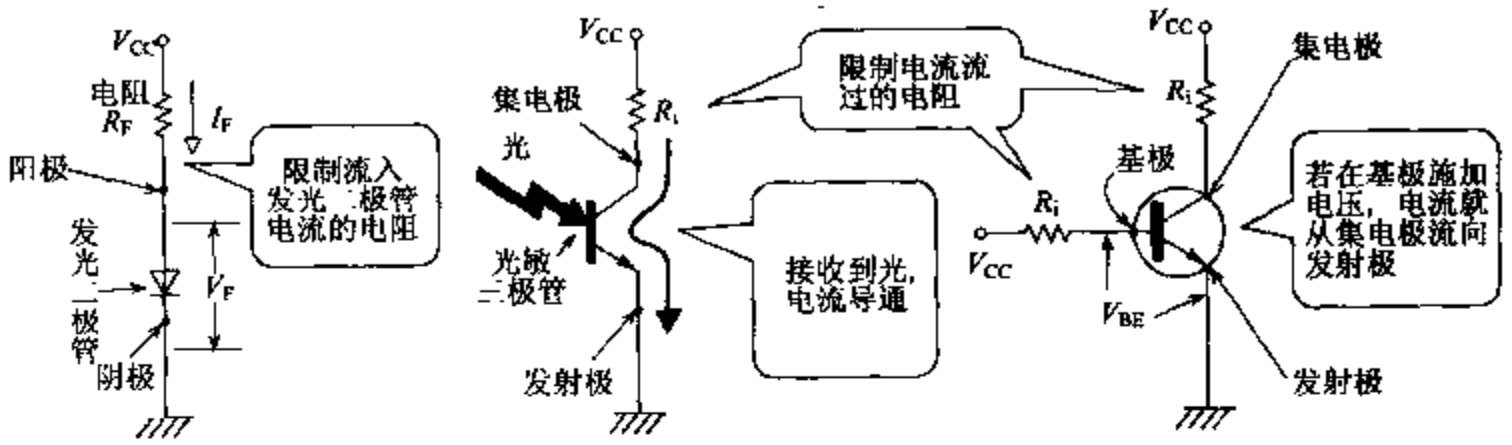


图 3　R_F 与 R_i 的计算方法

$R_F=(12-1.5)\div 0.02=525(\Omega)$

$R_i=(V_{CC}-V_{BE})/I_B$

其中，若设 V_{BE} 为 0.6V，I_B 为使继电器动作所需的电流，可以从继电器技术参数中查得 $I_C=30\text{mA}=0.03\text{A}$

$I_B=I_C$（流过继电器的电流）/放大系数 $=0.03\div 100=0.000\ 3(\text{A})$

所以，$R_i=(12-0.6)\div 0.000\ 3=38\ 000(\Omega)=38(\text{k}\Omega)$

Ⅲ　常用的反射式传感器电路

图 4 是常用的使用两个晶体管放大器的反射式传感器电路。若无反射物体，光敏三极管是不起作用的。电流 I_1 的途径为 $+V_{CC}$→电阻 R_1→晶体管 Tr_1 的基极→$-V_{CC}$，使晶体管 Tr_1 导通。于是，形成电流 I_2 的途径为 $+V_{CC}$→电阻 R_2→晶体管 Tr_1→$-V_{CC}$，晶体管 Tr_2 的基极没有电流流过，因此继电器不动作。

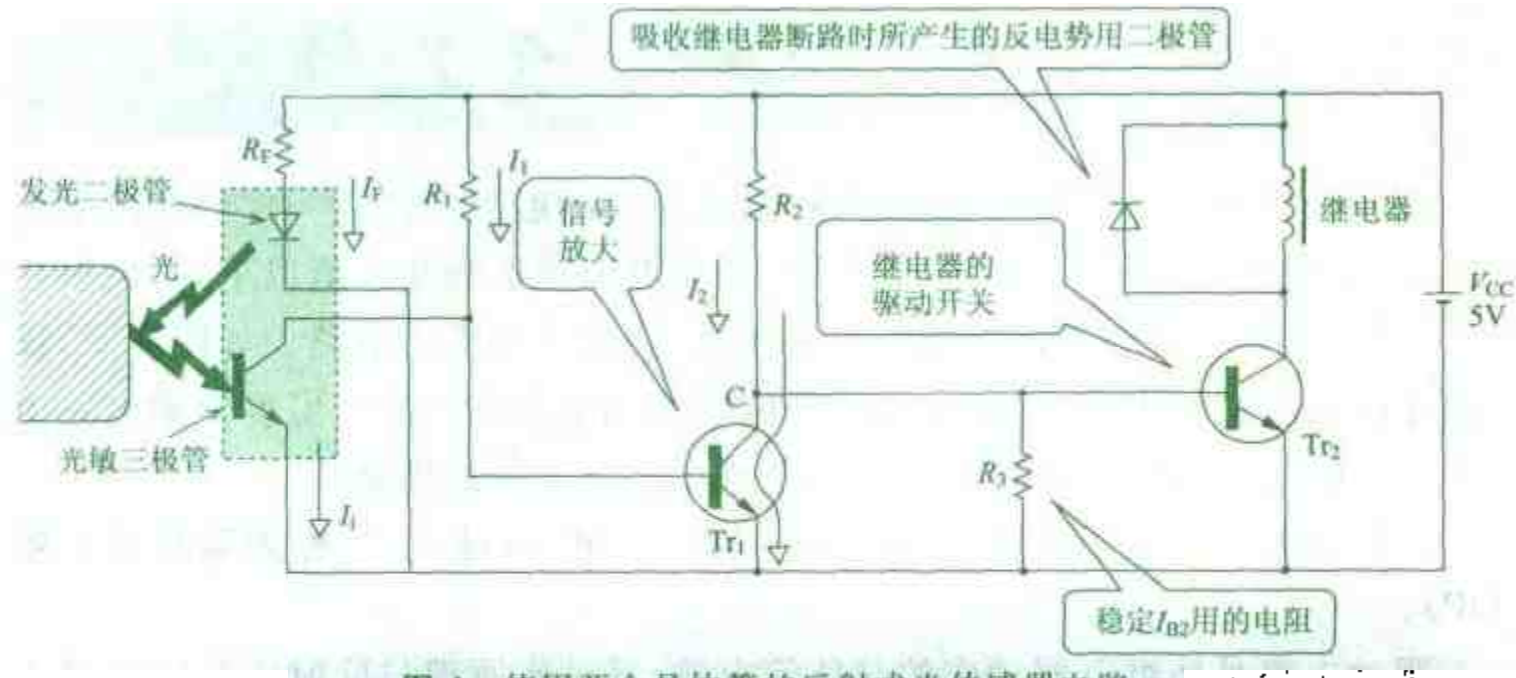


图 4　使用两个晶体管的反射式光传感器电路

当有物体反射光时，光敏三极管就导通，电流 I_1 沿着 $+V_{CC}$→电阻 R_1→光敏三极管→$-V_{CC}$ 流动，晶体管 Tr_1 的基极没有电流。因此晶体管 Tr_1 不导通，所以电流 I_2 沿着路径 $+V_{CC}$→电阻 R_2→晶体管 Tr_2 的基极→$-V_{CC}$ 流动，晶体管 Tr_2 导通使继电器动作。

当物体在光传感器前方经过时，反射光的时间应当比继电器的反应时间长。

Ⅳ　用温度传感器检测温度

用温度传感器检测温度就是用热敏电阻作为温度传感器来检测温度。热敏电阻的阻值随着温度的升高而减小，随着温度的降低而增加。

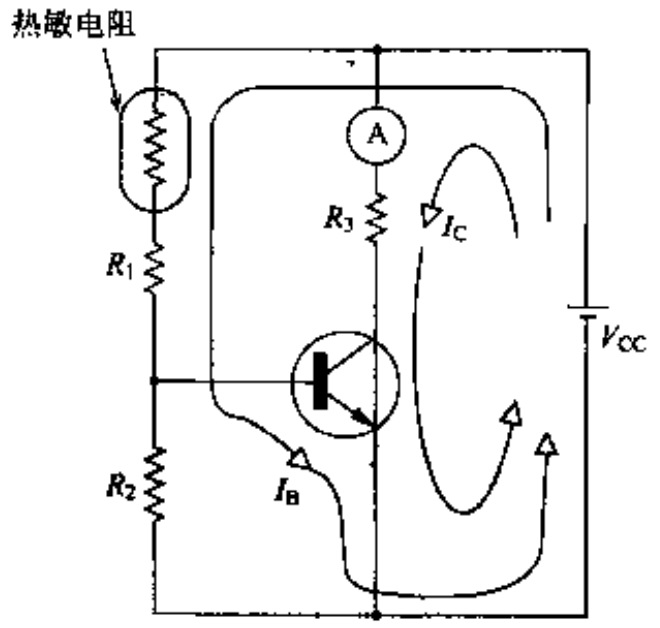


图 5　热敏电阻温度计

图 5 是热敏电阻温度计的原理图。若温度升高，热敏电阻的阻值就减小，基极电流 I_B 沿着 V_{CC}→热敏电阻→R_1→晶体管→V_{CC} 流动；集电极的电流是基极电流乘以电流放大系数，它沿着 V_{CC}→R_3→晶体管→V_C 流动。集电极电流 I_C 根据基极电流 I_B 的大小而增大或减小，基极电流则根据温度增减而变化。即因 I_C 是随着温度的变化而变化的，所以根据所检测的集电极电流的大小，就能检测出温度的高低。

Ⅴ　利用温度传感器的室温调节电路

图 6 是以热敏电阻作为温度传感器，使房间的温度保持在一定的范围的电路。若房间的温度升高，冷风机就启动；如果温度降低到某一值以下，冷风机就停止。换句话说，是根据需要的室温来接通、切断冷风机的电路。如图所示，该电路是由温度检测电路、比较电路及继电器驱动电路构成的。温度检测电路由电阻 R_1、R_3、R_4 与热敏电阻 R_2 构成，这种电路称为桥式电路。

比较电路是使用集成电路(IC)构成的放大电路，这个 IC 称为运算放大器(OP)。

驱动电路是使继电器动作的晶体管电路，其动作原理与反射式光传感器所

用的电路相同。

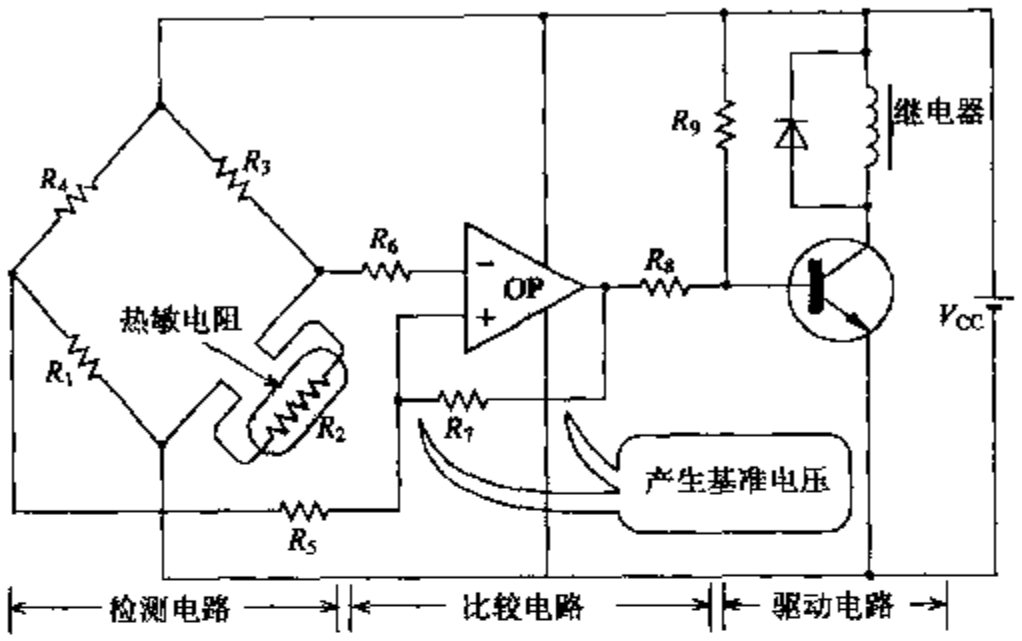


图 6 室温调节电路

Ⅵ 检测电路

如图 7 所示，其检测电路部分，以热敏电阻作为电阻 R_2，便于求出输入电压 V_{in} 与输出电压 V_{out} 之间关系式。由图可知，输出电压 V_{out} 是端子①与端子③之间的电压，输入电压 V_{in} 是端子④与端子②之间的电压，以端子②为基准点，若设端子③与②之间的电压为 V_2，则输出电压 V_{out} 可用下式表示：

$$V_{out}=V_1-V_2 \tag{1}$$

其中，V_1 是电阻 R_1 两端的电压；V_2 是电阻 R_2 两端的电压。

因此，下列式子成立：

$$\left.\begin{aligned} V_1&=R_1\cdot I_1\\ V_2&=R_2\cdot I_2 \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

根据式(2)电流 I_1、I_2 分别为

$$\left.\begin{aligned} I_1&=V_{in}/(R_1+R_4)\\ I_2&=V_{in}/(R_2+R_3) \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

把式(3)代入式(2)，得

$$\left.\begin{aligned} V_1&=R_1\cdot V_{in}/(R_1+R_4)\\ V_2&=R_2\cdot V_{in}/(R_2+R_3) \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

再把式(4)代入式(1)得

$$V_{out}=\frac{R_1}{R_1+R_4}V_{in}-\frac{R_2}{R_2+R_3}V_{in}$$

当热敏电阻的电阻值 R_2 随着温度的变化而变化时，输出电压 V_{out} 就会随之而变化。

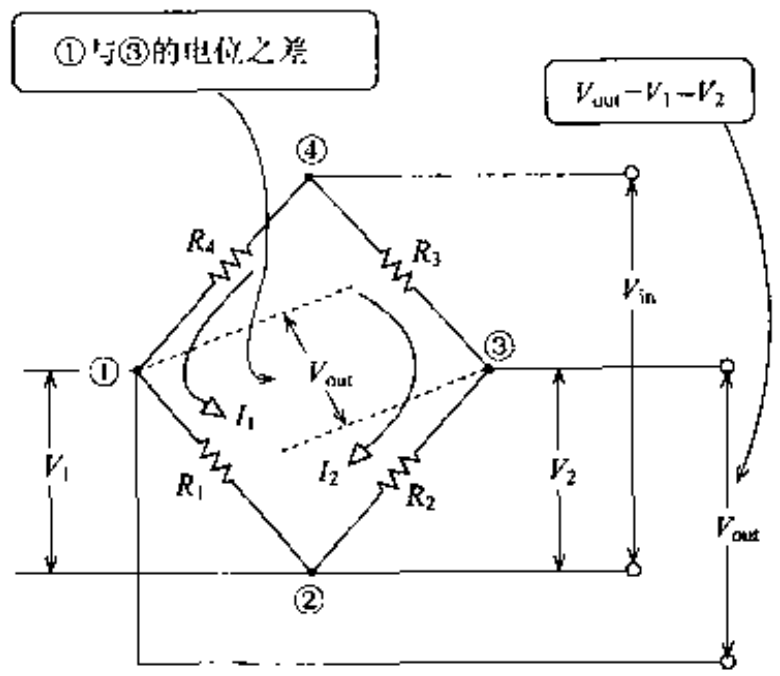


图 7 检测电路

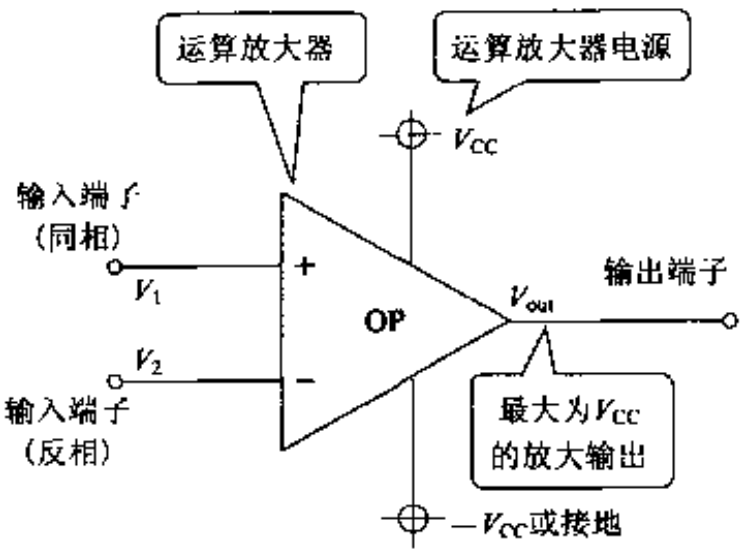


图 8 运算放大器

Ⅶ 比较电路与运算放大器

比较电路由图 6 中的运算放大器集成电路(IC)元件构成。运算放大电路如图 8 所示，有反相输入端子、同相输入端子及正、负电源端子与输出端子。

这个比较电路，将基准温度所决定的电压 V_1 与由检测温度决定的电压 V_2 进行比较，当 V_1-V_2 为正时，就产生输出电压 V_{out}，当 V_1-V_2 为负时，就不产生输出电压 V_{out}。这样，当温度达到某一定值时，此电路就会产生输出电压，使驱动电路驱动继电器动作，从而启动冷风机。

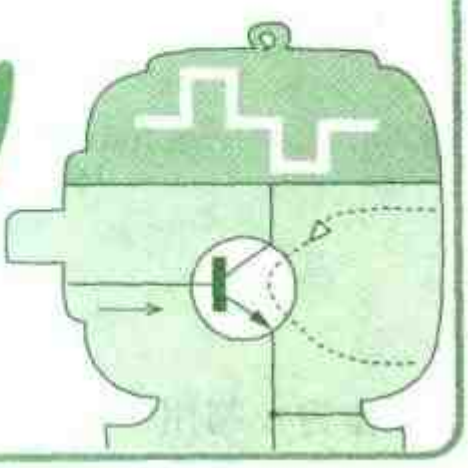
练习题

1. 在光传感器电路(参见图 2)中，发光二极管上接的电阻 R_F 有何作用？
2. 在光传感器电路(参见图 4)中，晶体管 Tr_1 的基极是在光敏三极管接收到反射光(检测到物体)时导通电流，还是在没有反射光时导通电流？

解答

1. 为了限制电流。
2. 没有反射光时导通电流。

3 执行机构的驱动电路



1 执行机构的定义

相当于人的感觉器官(眼睛、耳朵等)的元件是传感器,能使人的手脚活动的是肌肉,对机械系统来说,使各种机构动作的是电动机、汽缸和油缸(气动、液压)等部件。这些部件统称为**执行机构**。从这个意义上说,执行机构就相当于人的肌肉。执行机构的动力源有电动、气动与液压等,但大多是电动的(参见图 1)。

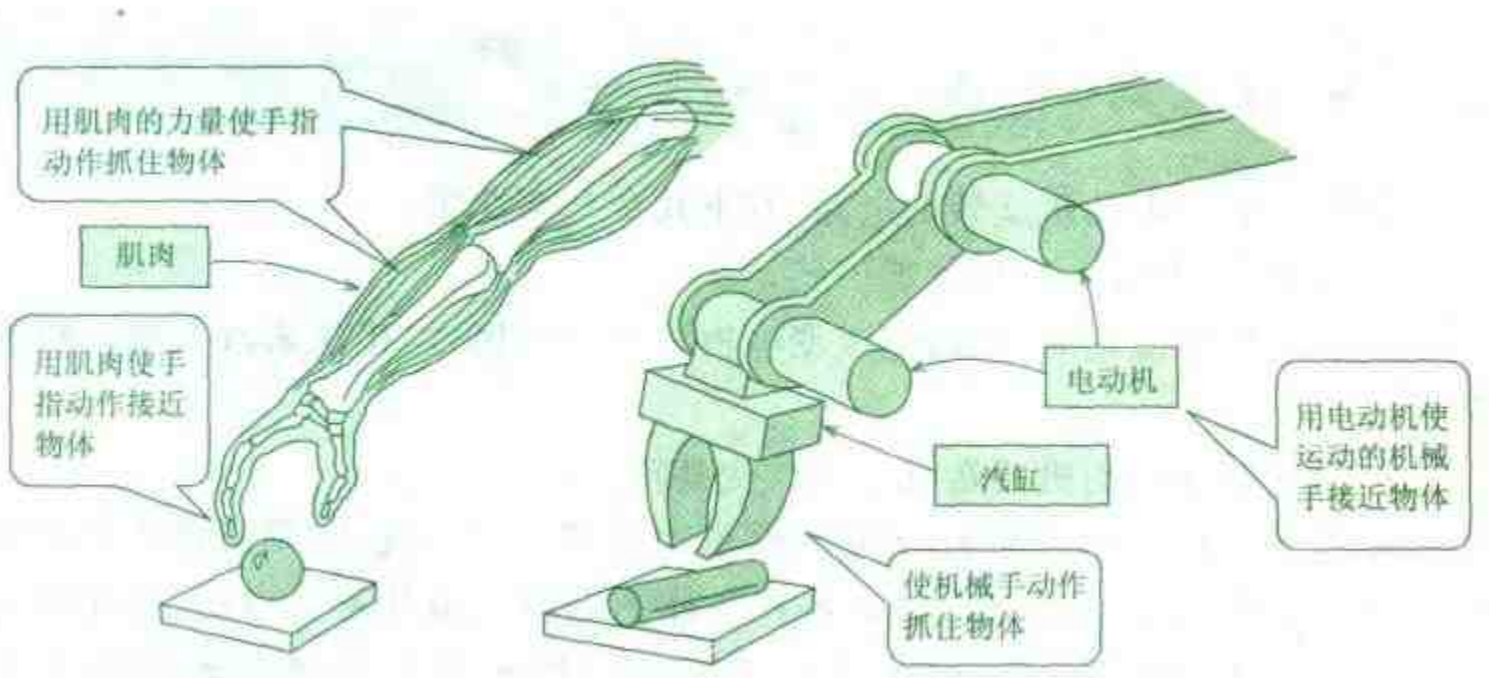
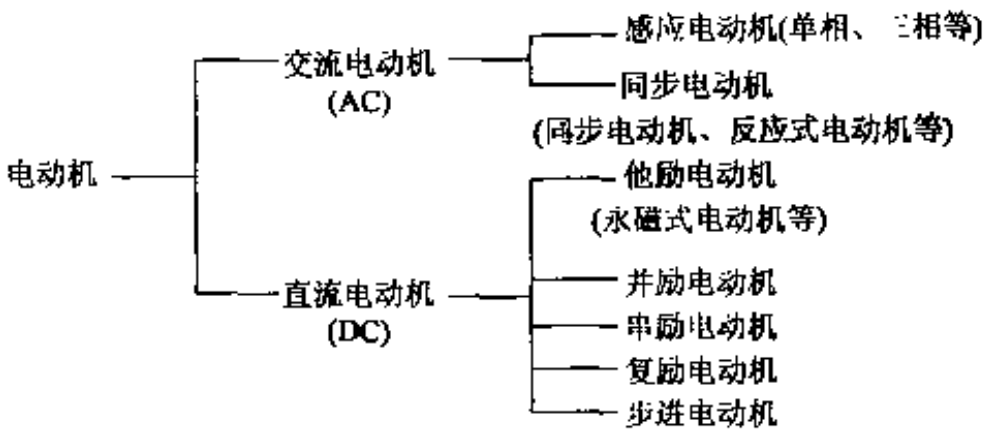


图 1　人的肌肉与执行机构的比较

以电作为动力源的执行机构有电动机(马达)、螺线管、直线电机等。其中用得最多的是电动机(参见表 1)。

表 1　电动机的种类





作为控制用的电动机有以下类型：

① 交流伺服电动机；

② 直流伺服电动机；

③ 步进电动机。

所谓**伺服电动机**，是由电动机、传感器（即旋转位置检测装置）、控制电路、驱动电路等构成的，是为了达到控制目标用来修正所进行动作的电动机。

电动机是作旋转运动的，直线电机是作直线运动的。其原理与感应电动机相同，可以看作是一台直径为无限大的电动机的一部分。

尽管螺线管也能靠磁力推动轴等作直线运动，但力量不大。

Ⅱ　使电动机旋转的简单电路

使直流（DC）电动机旋转的电路，有下几个基本性质：

① 有电流流过，电动机就能旋转；

② 若用他励磁场时，可通过改变电枢的正、负（极性）接法来改变电动机的旋转方向；

③ 通过改变电动机的端电压来改变其转速。

④ 在切断电流的情况下，若用外部的力量使电动机旋转，则可进入发电运行状态。根据上述性质，可以设计各种各样的电路。用开关来启动、停止电动机的电路如图 2 所示。将直流电动机，用两根电线连接正、负极即能旋转，但是要使其反方向旋转，接线方法也要相反。也就是说，电动机的旋转方向是由流过电动机的电流方向来决定的。

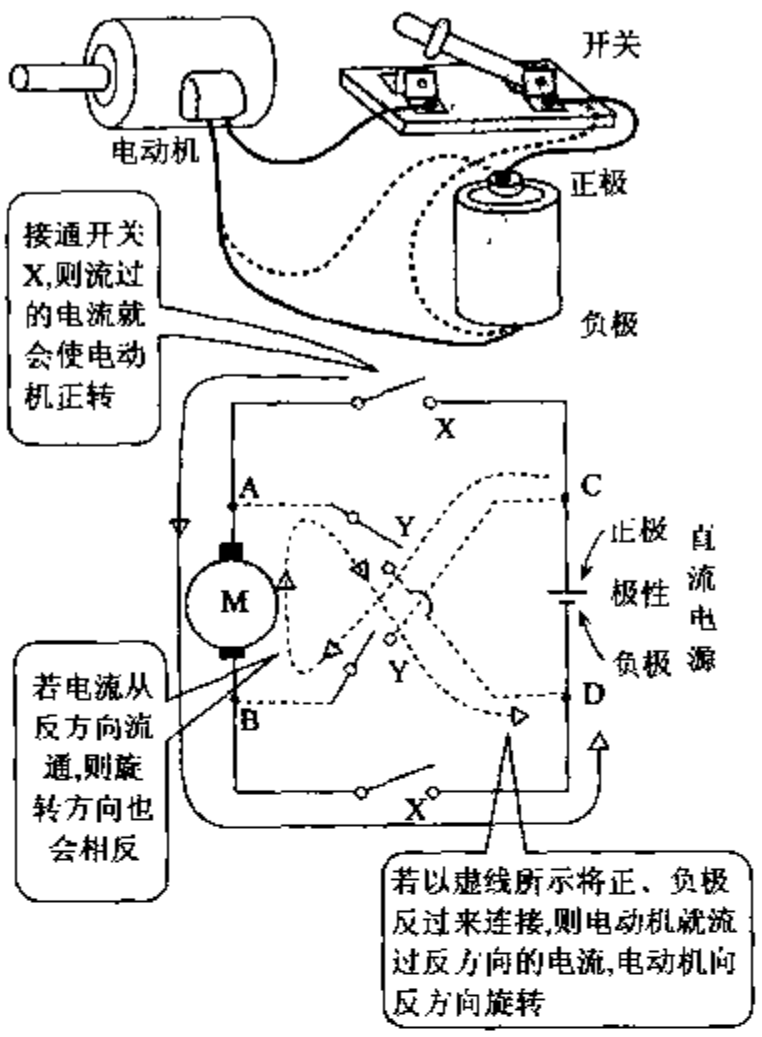


图 2 使电动机旋转的原理图

Ⅲ 使用晶体管的驱动电路

所谓驱动电路,是让执行机构启动、停止的电路。图 2 为根据输入信号控制管通、断的电路。

通、断控制:把电动机接在晶体管集电极上形成的基本驱动电路(参见图 3),称为恒流驱动控制法(基极与发射极之间的雪崩二极管未画出来)。

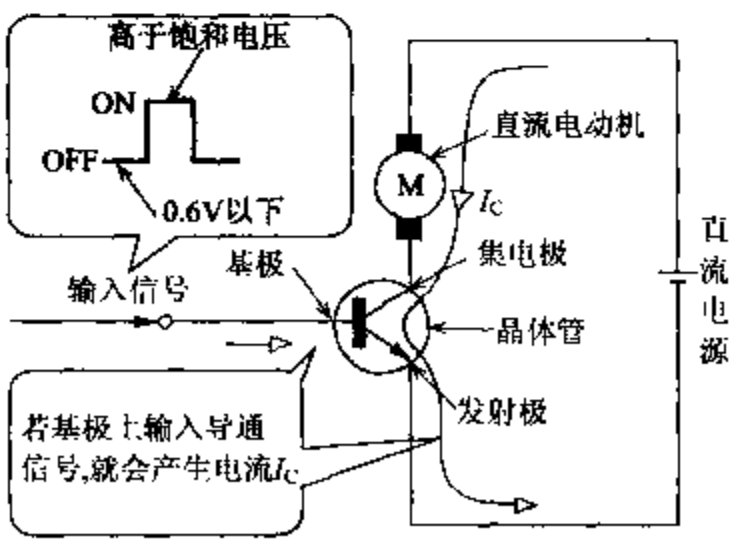


图 3 用晶体管的驱动电路

用 0.6V 以上的信号输入基极，则基极、发射极之间就流过基极电流 I_B，由此产生集电极、发射极之间的电流 I_C，I_C 是 I_B 的 h_{FE}（电流放大系数）倍。

因为 I_C 是使电动机旋转的电流，所以必须要足够大。尽管 I_C 会随着 I_B 的增加而增大，但当 I_B 增加到一定量时，I_C 不再继续增加，这种状态称为**饱和状态**。处于饱和状态时的基极电流 I_B 所对应的基极、发射极之间的电压 V_{BE} 称为饱和电压。通(ON)、断(OFF)控制的信号输入电压，应满足以下条件：

通(ON)：饱和电压以上　　断(OFF)：0.6V 以下

该电路中晶体管上的电压降小，发热量也很小，所以电路的效率很高。

转速控制　如图 4 所示，把电动机接在晶体管的发射极端构成的电动机驱动电路称为**恒压驱动控制法**。

施加在电动机上的电压 V_m 为输入电压 V_i 与基极、发射极之间的电压 V_{BE} 之差。因电动机的转速是由端电压 V_m 决定的，所以通过改变输入电压 V_i 就能改变电动机的转速。图 4 所示是控制转速的基本电路。另外，施加在电动机上的电压 V_m 不是 V_{CC}，而是比 V_{CC} 要低，V_{CC} 与 V_m 之差值电压 V_L，就成了晶体管内的热量消耗（需要散热），因而降低了电路的效率。

图 5 所示是用变阻器来改变输入电压，控制电动机转速的基本电路。若改变可变电阻的 R_1 与 R_2 阻值之比，输入电压 V_i 就改变。由此就可改变电动机的转速（输入电流很小）。

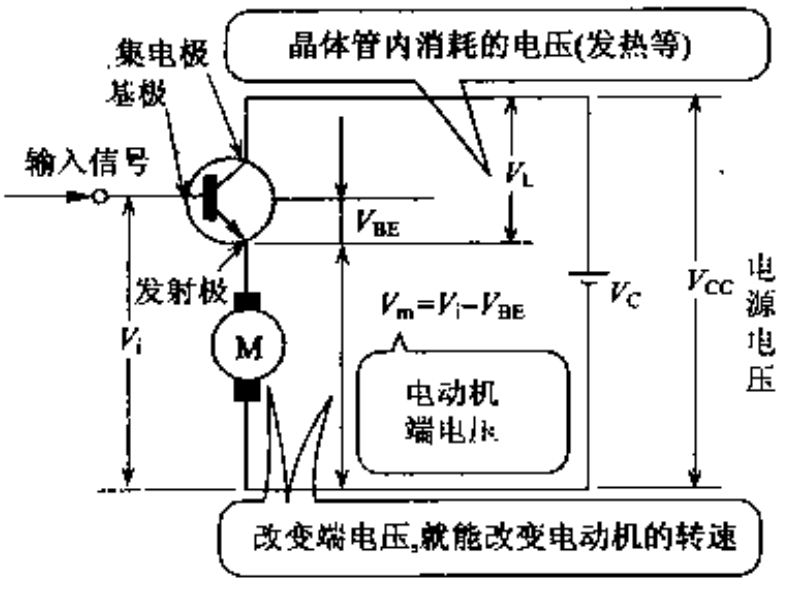


图 4　电动机连接发射极的基本电路

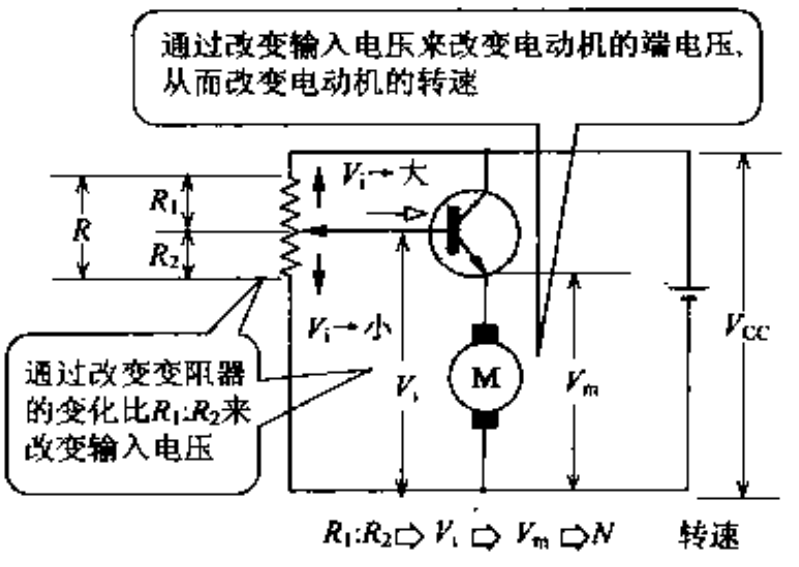


图 5　改变电动机转速的基本电路

可利用图 6 来说明电压 V_2 变化的情况。流过电阻的电流 $I=V_{CC}/(R_1+R_2)$ 因此，得

$$V_2=R_2\cdot I=R_2\cdot\frac{V_{CC}}{R_1+R_2}$$

由此可知 V_2 随着 R_1 与 R_2 的比值的变化而变化。

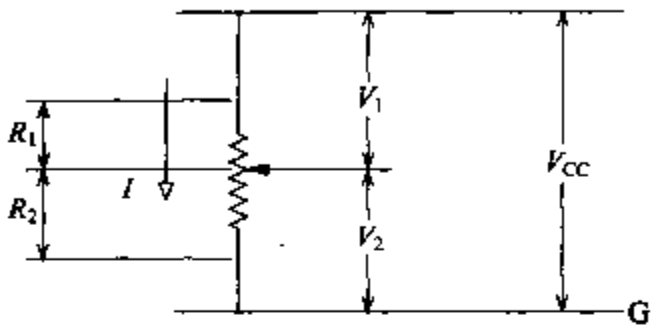


图 6　电压的变化

旋转方向控制：图 7 是用两种晶体管(npn 型与 pnp 型)作为电源的电动机的转向控制原理图。

前面介绍和用到的晶体管，都是 npn 型的。若在其基极上施加高于 0.6V 的电压，则其集电极与发射极之间就有电流 I_1 流过，就会使电动机正转；pnp 型晶体管与 npn 型相反，是通过在基极上施加－0.6V 以下的电压来工作的，此时，电流 I_2 是从发射极流向集电极来使电动机旋转的。因为流入电动机的电流 I_1 与 I_2 方向相反，所以能控制电动机的转向。

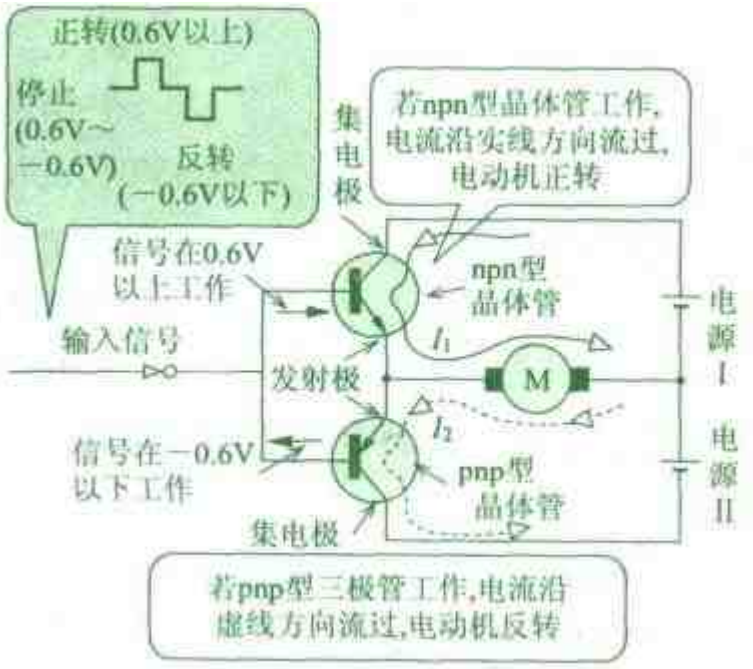


图 7　电动机转向控制的基本电路

下面，我们把图 7 分为图 8 和图 9 进行研究。图 8 就是图 7 电路的上半部分，与前面学过的 npn 型晶体管的发射极接法(参见图 4)相同，因此不再解说。

图 9 所示是把电动机接在 pnp 型晶体管发射极上的电路。

① 晶体管的工作输入信号电压为－0.6V 以下；

② 把电压施加在发射极上构成电路；

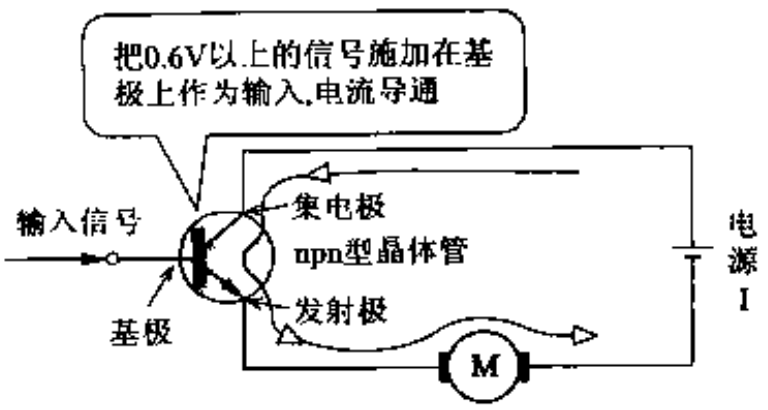


图 8　npn 型晶体管电路图

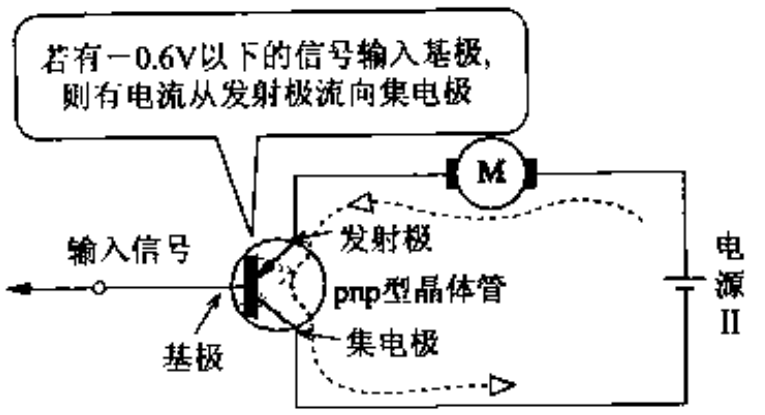


图 9　pnp 型晶体管电路图

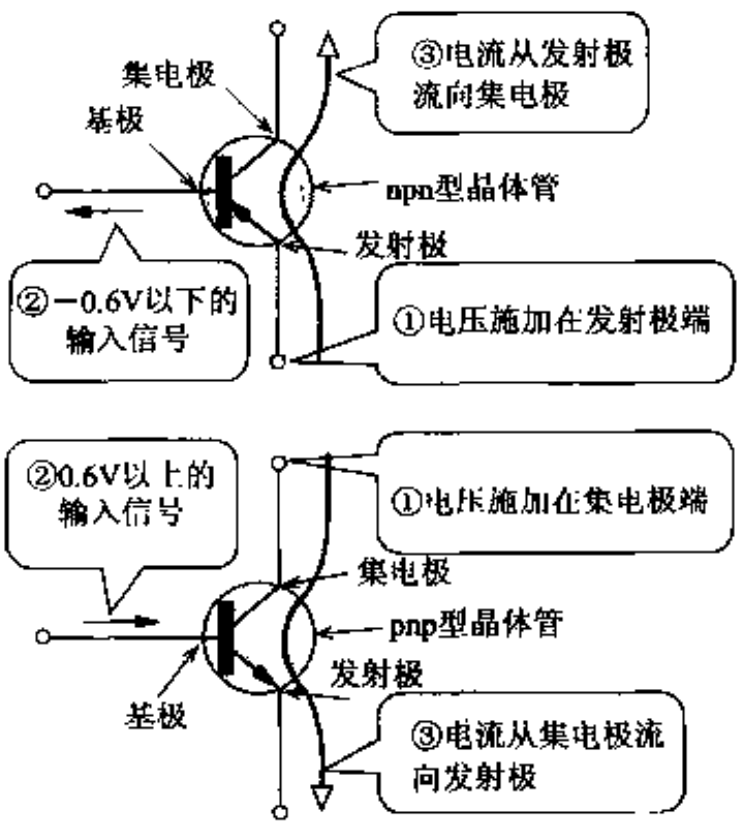


图 10　pnp 型晶体管与 npn 型晶体管工作原理的比较

③ 在基极上输入−0.6V 以下的电压,则有电流从发射极流向集电极。因电路接通有电流,电动机就旋转。

再把这些归纳为图 7 所示的转向控制电路:

① 当输入信号电压为 0.6V～−0.6V 之间时,两个晶体管均不工作,电动机处于停止状态;

② 当输入信号电压高于 0.6V时,npn 晶体管工作,电流从电源Ⅰ流过集电极、发射极,回到电源Ⅰ(如实线所示),电动机正转;

③ 当输入信号电压低于−0.6V 时,pnp 晶体管工作,电流从电源Ⅱ流过发射极、集电极,回到电源Ⅱ(如虚线所示),电动机反转。

npn 型晶体管与 pnp 型晶体管的工作电流方向不同,流过电动机的电流方向也不同,所以电动机旋转的方向相反。

在图 10 中,可以看到 pnp 型晶体管与 npn 晶体管的工作状态的区别。

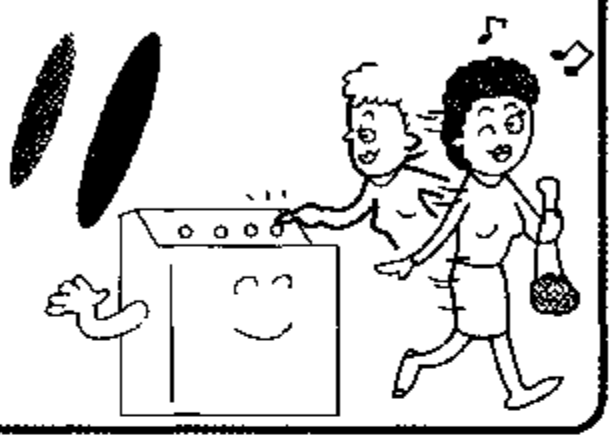
练习题

1. 在转速控制电路中,把直流电动机接在晶体管(npn 型)的发射极时,是通过改变什么来控制转速的?
2. npn 型晶体管与 pnp 型晶体管区别是什么?

解答

1. 通过改变晶体管基极上的输入信号电压来控制转速。
2. 基极的信号电压及施加电压处,电流的方向相反。

4 顺序控制的定义



1 自动控制与顺序控制

表 1 是把自动控制分为顺序控制与反馈控制的分类表。

表 1　自动控制的分类

- 自动控制
  - 顺序控制(定性的控制)
    - 有接点顺序控制
      (以继电器为中心的控制)
    - 无接点顺序控制
      (使用数字集成电路(IC)的逻辑电路控制)
      (使用微机的程序控制,可编程序控制器等)
  - 反馈控制

顺序控制:JIS(日本工业标准)关于顺序控制的定义为:“根据事先确定的顺序,依次执行各控制步骤的控制”。以全自动洗衣机为例,放入要洗涤的衣物与洗涤剂,按启动按钮,于是就自动地执行图 1 所示的一个规定的顺序,完成洗涤工作。

像这样根据所要完成的工作而规定的顺序,一步一步地自动执行,来完成要做工作的控制方式,称之为**顺序控制**。

同时顺序有“接着来”、“次序”的意思,有时可以称为依次序控制。

把只作为启动(ON)、停止(OFF)工作的一个电路切断,可用两点之间的接点来完成。接点闭合,电路就接通(ON);接点断开,电路就切断(OFF)。这种

用继电器(参见图 2)或开关等元器件接点进行的控制称为**有接点顺序控制**。

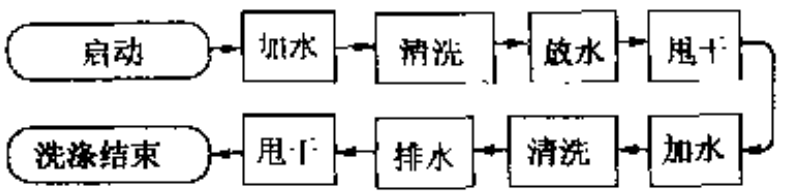


图 1　全自动洗衣机的工作

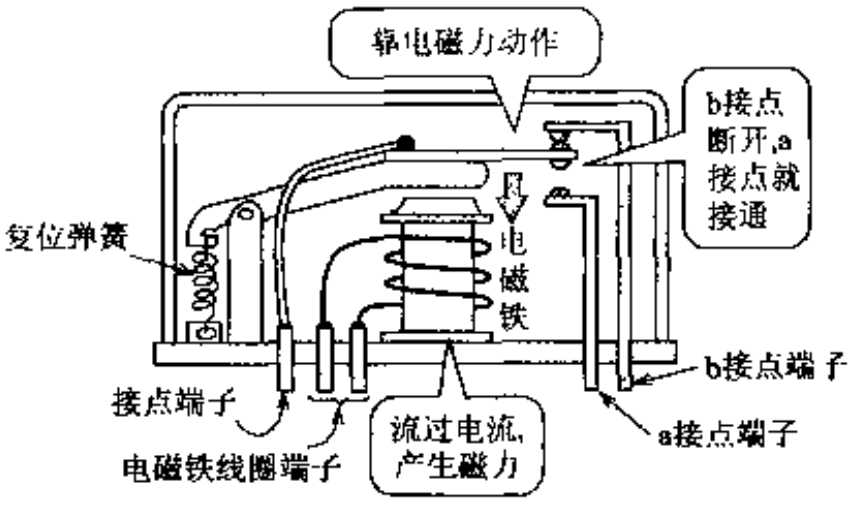


图 2　继电器(电磁继电器)

用“1”表示“ON”,用“0”表示“OFF”,使用逻辑元件(大多用 IC)的数字控制或使用微机的可编程控制器的程序控制称为**无接点顺序控制**。

顺序控制,可以用以下形式来构成电路:

① 梯形电路图(原理图);

② 时序图、流程图;

③ 逻辑图、真值表。

Ⅱ　顺序控制的基本电路

与(AND)电路:全部输入均为 ON 时,才能工作(也称为输出)的电路。

图 3 为有接点顺序控制中的 AND 电路的梯形图。其动作过程为:

① 只有当输入接点 X 与 Y 都接通,1-2 之间流过电流,继电器 R 才动作;

② 继电器 R 动作,其接点闭合,3-4 之间流过电流,输出继电器 Z 就动作。

图 4 是无接点顺序控制用的逻辑元件(AND 电路)的符号,表 2 是 AND 电路的逻辑表达式 $Z=X\cdot Y$ 的真值表。

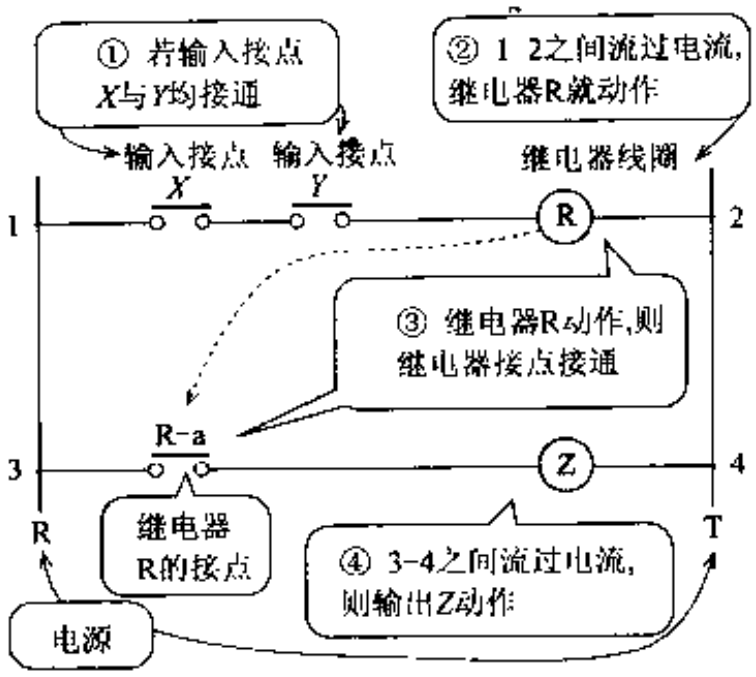


图 3 AND 电路的梯形图

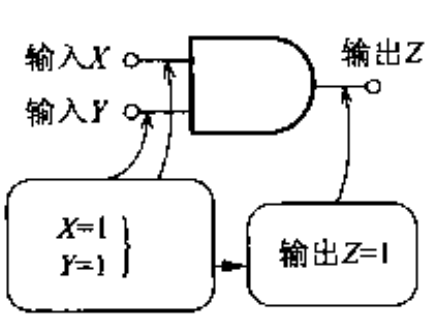


图 4 逻辑元件符号(AND 电路)

表 2 AND 电路的真值表

输 入		输 出
X	Y	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$Z = X \cdot Y$(逻辑表达式)

用"1"表示"ON",用"0" 表示"OFF"。

AND 电路,如真值表(参见表 2)所示,只有当输入信号 X 与 Y 同时为 1 时,输出 Z 才为 1;其他情况下,输出均为 0。

或(OR)电路:只要有一个输入接点接通(ON),输出电路就工作的电路。图 5 所示的是 OR 电路的梯形图。

其动作过程为:

① 任一输入接点 X 或 Y 接通,则 1-2 之间流过电流,继电器 R 就动作;

② 继电器 R 动作,则继电器 R 的接点接通,3-4 之间就流过电流,输出继电器 Z 就动作。

图 6 是 OR 电路的逻辑元件符号,表 3 是 OR 电路的表达式 $Z = X + Y$ 所对应的真值表。可见 OR 电路中,输入 X、Y 任一个点接通时,输出就接通。

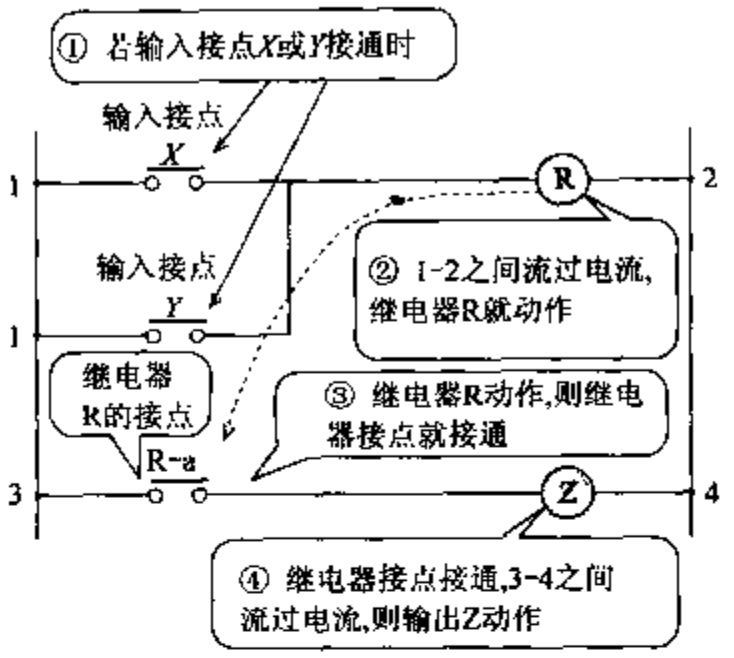


图 5　OR 电路的梯形图

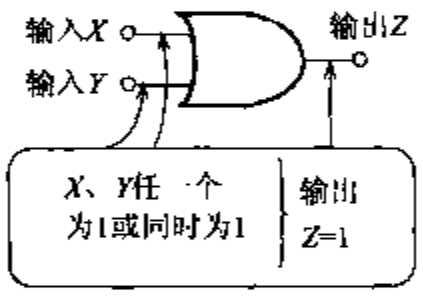


图 6　逻辑元件符号(OR 电路)

表 3　OR 电路的真值表

输　入		输　出
X	Y	Z
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

$Z=X+Y$(逻辑表达式)

自保持电路　即使输入信号消失后，也始终保持输入状态的信号，此电路称为自保持电路。其基本形式如图 7 所示。

自保电器的动作过程如下：

① 输入接点 X 接通，则 1-2-3 之间流过电流，使继电器 R 动作；

② 继电器的接点 R-a_1 与 R-a_2 接通；

③ 4→2→3 流过电流，建立旁路；

④ 5→6 流过电流，输出继电器 Z 动作；

⑤ 输入接点 X 断开，电流仍然沿着 4→2→3 的旁路流过，使继电器 R 继续工作；

⑥ 输入接点 Y 是用常闭接点(b 接点)。输入接点 Y 上有信号输入，其 b 接点就断开，切断了 4→2→3 之间的电流，使继电器 R 动作；

⑦ 继电器 R 的接点断开后，就停止输出。

图 8 是自保持电路的时序图。

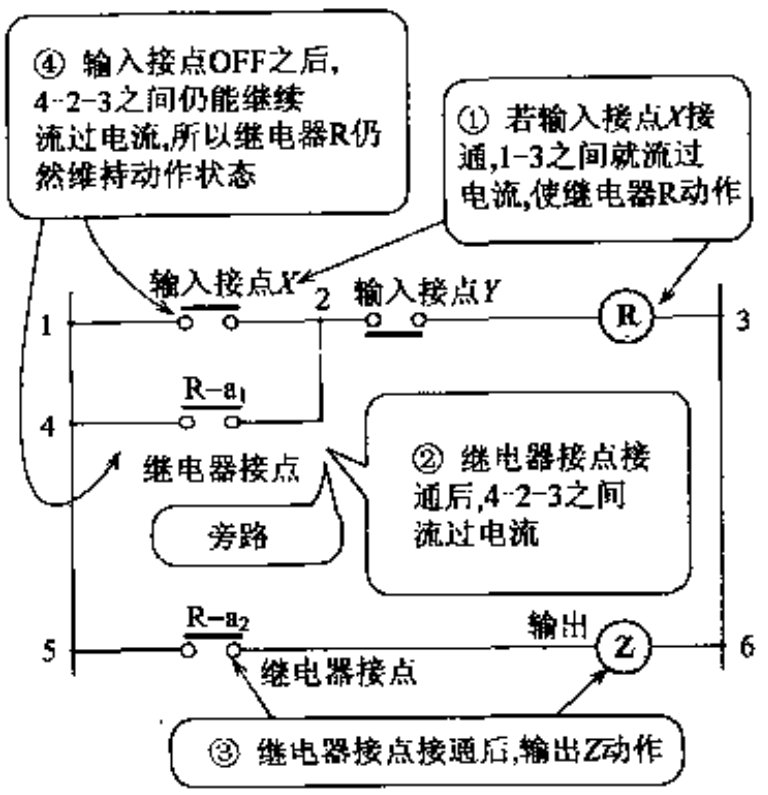


图 7 自保持电路的梯形图

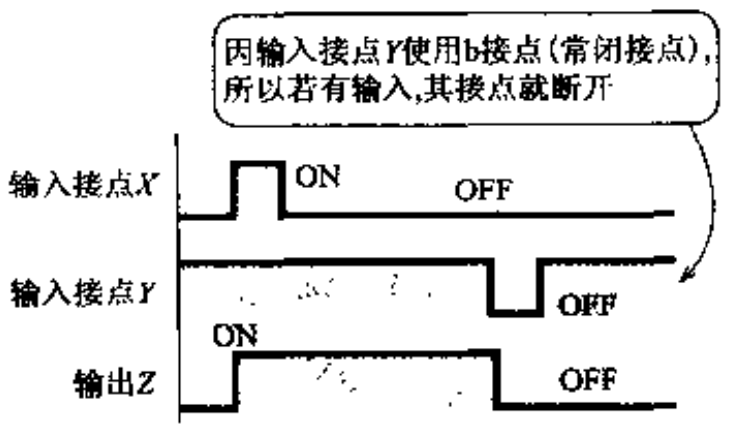


图 8 自保持电路的时序图

自保持电路是常用的基本电路，其特征是把执行动作的继电器接点也作为输入接点，与输入接点并联构成旁路。

图 9 表示使用逻辑元件的无接点顺序控制自保持电路，表 4 为与其对应的真值表。图中的非(NOT)电路是输出与输入的逻辑值相反(1 变 0，0 变 1)的电路。

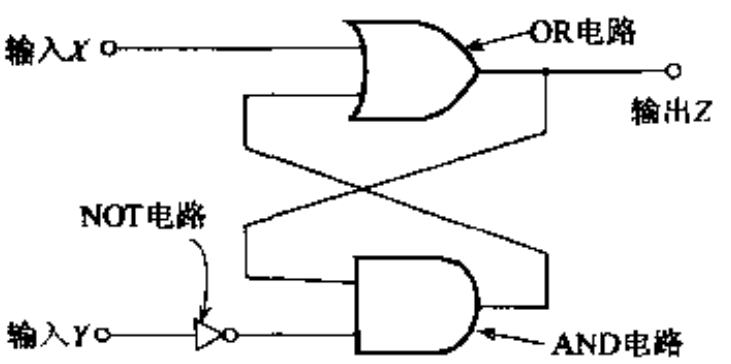


图 9 自保持电路(记忆电路)

表 4　自保持电路的真值表

序　号	输　入		输　出	电路状态
	X	Y	Z	
1	0	0	0	初始状态
2	1	0	1	输入 ON
3	0	0	1	输出保持
4	0	1	0	输入 OFF
5	0	0	0	初始状态

定时器有接通延时与切断延时两种定时器。这里介绍接通延时定时器：

① 输入信号输入定时器；

② 定时器动作；

③ 经过一定的设定时间，接点动作；

④ 切断输入信号，接点断开，返回到初始状态。

无接点定时器使用单稳态多谐振荡器或触发电路。

图 10 为定时器的时序图。

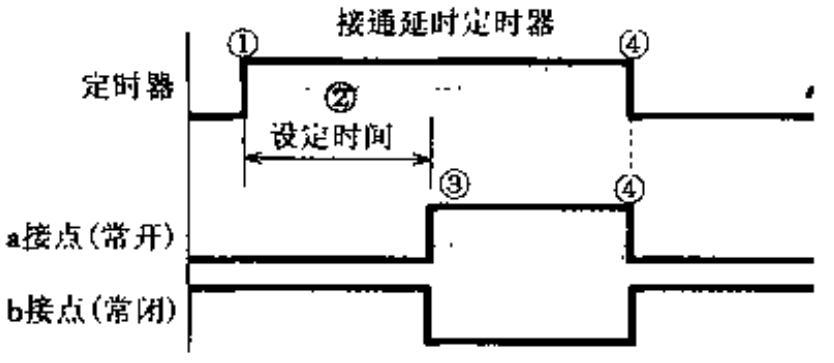


图 10　定时器的时序图

Ⅲ　简单装置的顺序控制电路

图 11 是用活塞将物体从 A 点通过 B 点移动到 C 点的装置的结构图。其动作顺序如下：

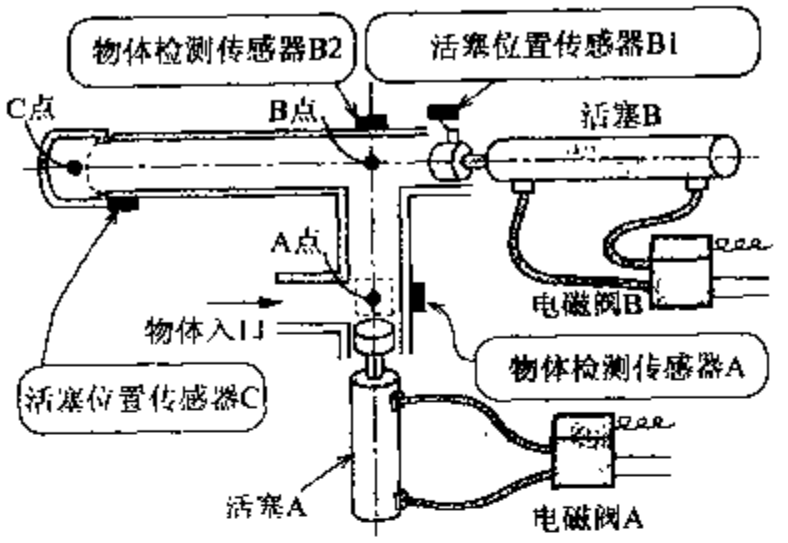


图 11 从 A 点移动物体经过 B 点再到 C 点的装置

① 物体进入 A 点，由传感器检测到物体；

② 传感器检测到物体后，活塞的位置检测器 B1 检测到活塞 B 处于 B 点，活塞 A 动作，将物体移动到 B 点；

③ 当物体检测传感器 B2 检测到物体到达 B 点后，活塞 B 动作，将物体移动到 C 点，并且从检测到物体到达 B 点起经过一定的时间（例如 2 秒）后，活塞 A 返回 A 点；

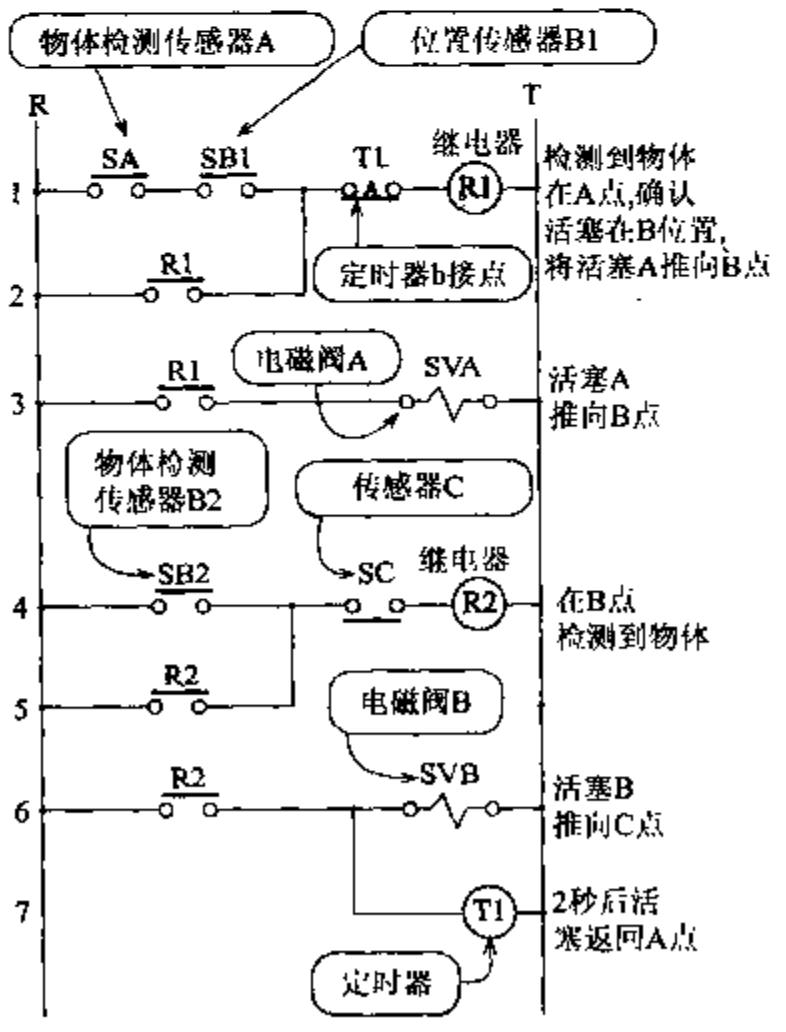


图 12 梯形图

④ 当汽缸位置传感器 C 检测到活塞 B 到达 C 后，活塞 B 就返回 B 点。

以上动作控制用的梯形电路图，如图 12 所示。现说明其动作流程：

第 1 行　物体检测传感器 A(SA)和位置传感器 B1(SB1)接通，则继电器 R1 动作；

第 2 行　(通过继电器 R1 的接点)自保持；

第 3 行　继电器 R1 的接点接通，使电磁阀 A(SVA)动作；

第 4 行　若物体检测传感器检测到 B 点处的物体，则 B2(SB2)接通，使继电器 R2 动作；

第 5 行　(通过继电器 R2 的接点)自保持；

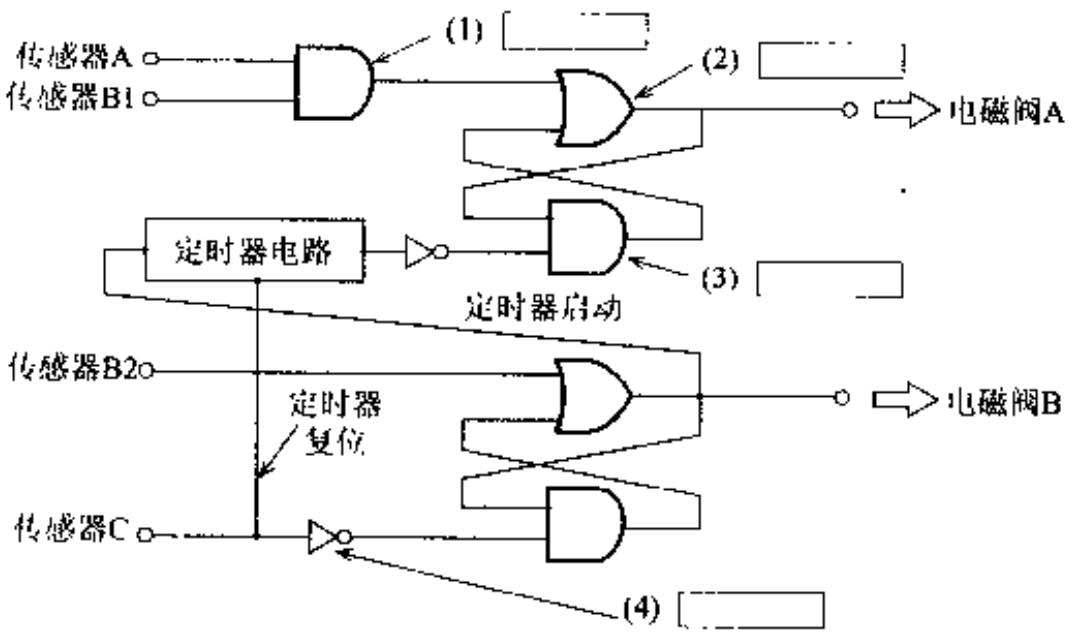
第 6 行　继电器 R2 的接点接通，使电磁阀 B(SVB)动作；

第 7 行　定时器 T1 动作，2 秒后第 1 行定时器 T1 的 b 接点 OFF，活塞 A 返回到原处。

第 4 行的位置传感器 C 的 b 接点 OFF，活塞 B 就返回到原处。

练习题

1. 下图是将图 11 的电路用无接点逻辑图表示的电路，在图中(1)～(4)的□中添入逻辑电路的名称。



解答

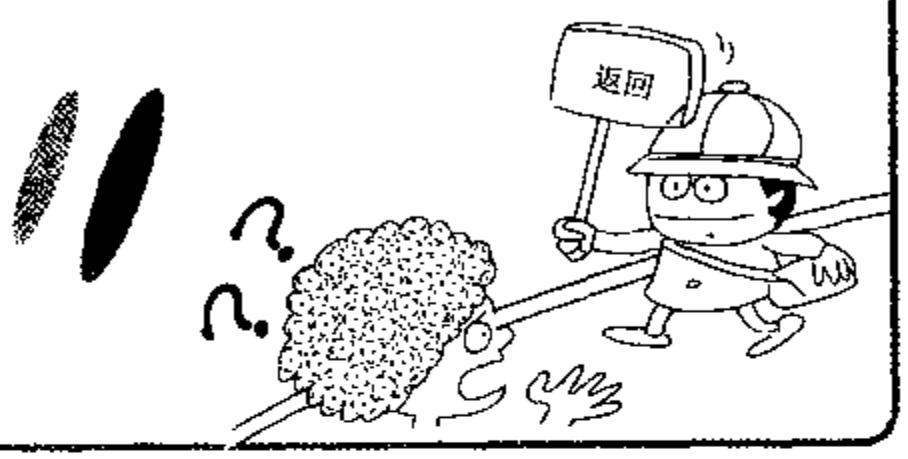
(1) AND 电路。

(2) OR 电路。

(3) AND 电路。

(4) NOT 电路。

5 反馈控制



1 反馈控制的定义

反馈含有“返回”或“为了加强修正而以某种方式将现有结果的一部分抽出返回”等意思。交通信号灯是以绿、黄、红灯的点亮、熄灭时间按顺序来控制的，这就是顺序控制。

有时，人们在马路的交叉路口等待红灯熄灭时，在绿色信号方向却没有车辆通过，但红灯仍然亮着，这很不合理(参见图 1)。此时在交通拥挤的交叉路口，最好是由交通警察按交通流量的情况来调整信号灯的转换。

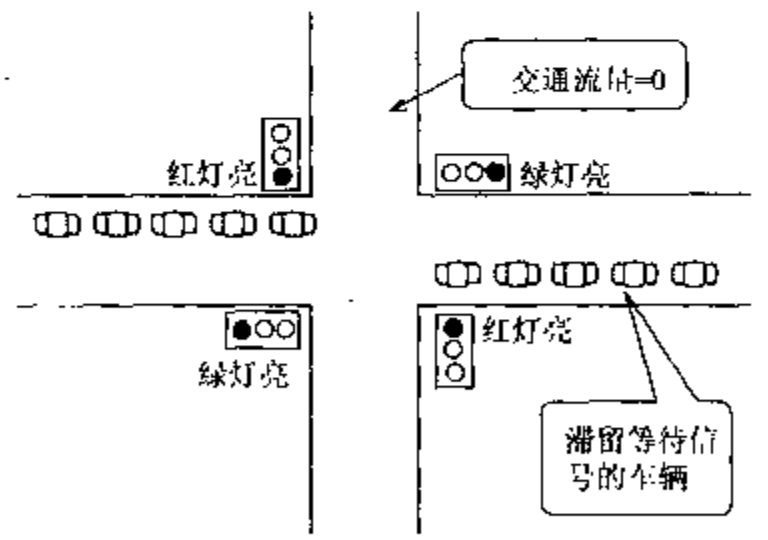


图 1 不合理的交通信号

将这样的调整用自动控制来实现(参见图 2)，就称为反馈控制。反馈控制的定义是“将控制对象的控制量与目标量进行比较，进行动作修正使其差值为

零的控制”。

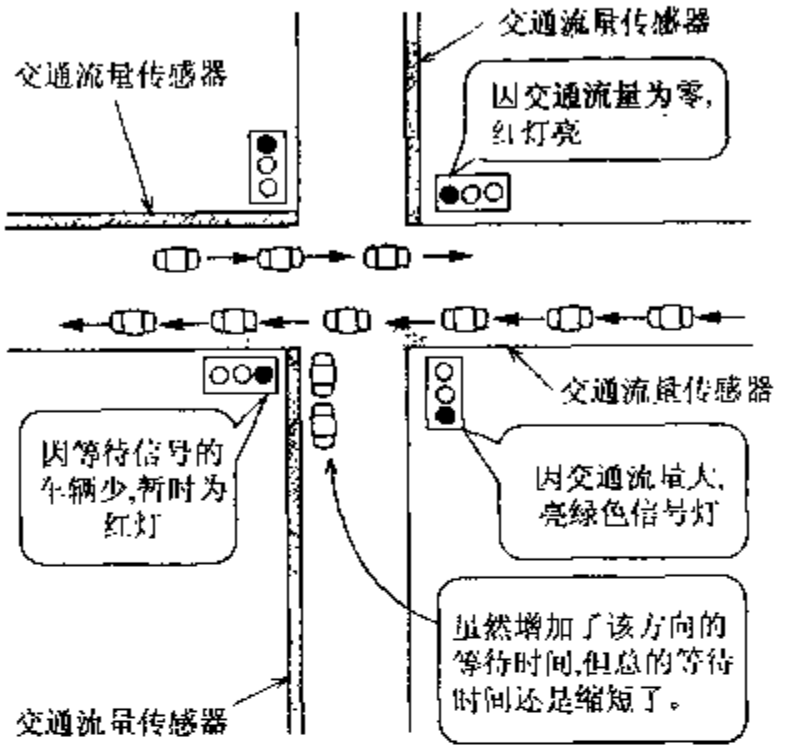


图 2　用反馈控制的交通信号

图 3 以空调为例对反馈控制的基本结构进行说明。

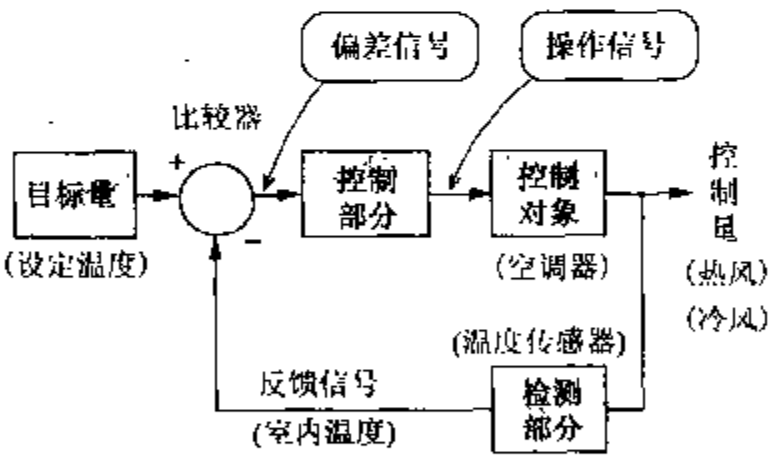


图 3　反馈控制的基本结构

① 目标量是设定的室内温度；

② 检测部分，测定室内温度并送往比较部分；

③ 比较部分将设定温度与室内温度进行比较，其差值作为偏差信号送往控制部分；

④ 控制部分根据偏差信号，确定控制手段(加热或制冷)，发出操作信号；

⑤ 根据操作信号来运行空调器。

⑥ 返回，反复执行从②～⑥的操作。

反馈控制的分类

根据控制对象的不同，反馈控制有许多种类。下面介绍控制量与目标量的分类。

(1) 根据控制量的性质分类

① **伺服机构控制** 是对机械的位置、方向、姿态等目标值的任意变化进行跟踪的控制(参见图 4)。

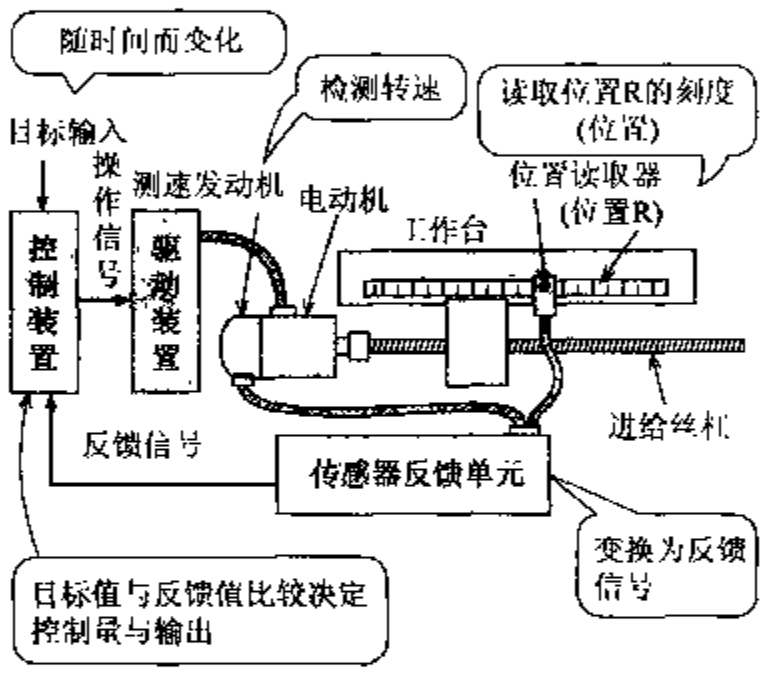


图 4 用伺服机构的工作台控制

② **自动调整** 主要是对速度、牵引力、电压、电流等机械量或电气量进行的控制。

③ **过程控制** 对化工厂等装置的压力、温度、流量、浓度、pH 值等的状态量进行的控制(参见图 5)。

(2) 根据目标的性质分类

① **定值控制** 使目标值保持恒定的控制(过程控制)等。

② **跟踪控制** 跟随目标值的变化，所进行的控制(伺服机构的控制)等。

③ **程序控制** 事先设定好目标值的变化，按计划进行控制(过程控制)等。

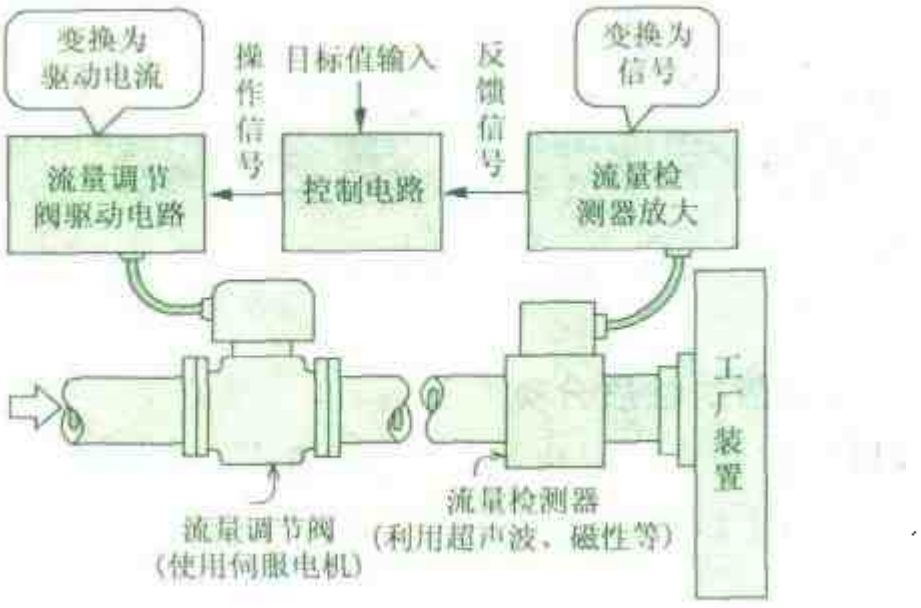


图 5　过程控制之一

Ⅲ　伺服机构的定义

伺服机构也还是多用电气式的。图 6 所示是电气式伺服机构的基本结构，其动作如下面所述：

① 将手柄转动 θ_1 角度(输入信号)；

② 输入端位置检测器的可变电阻将角 θ_1 作为输入信号(电压 V_2)送入放大器；

③ 同样地在输出端的位置检测器将现在的位置作为输出信号(电压 V_2')送入放大器；

④ 用放大器将输入信号与输出信号作比较，将其电压差值放大，并作为送到电动机的操作信号；

⑤ 根据操作信号，电动机开始旋转；

⑥ 在④的放大器中，输入信号与输出信号之差值为零之前反复进行③～⑤ 的操作。

伺服电动机通常都用在加工机械的控制中，如图 4 所示的控制就用于机床控制中。图 6 所示的控制，则用于轮船驾驶或汽车的动力转向装置的控制中。

汽车的动力转向装置以液压式为主，电气式一般用于特种车辆，但最近也在普通的汽车上采用。图 7 是电气式汽车转向装置的原理图。

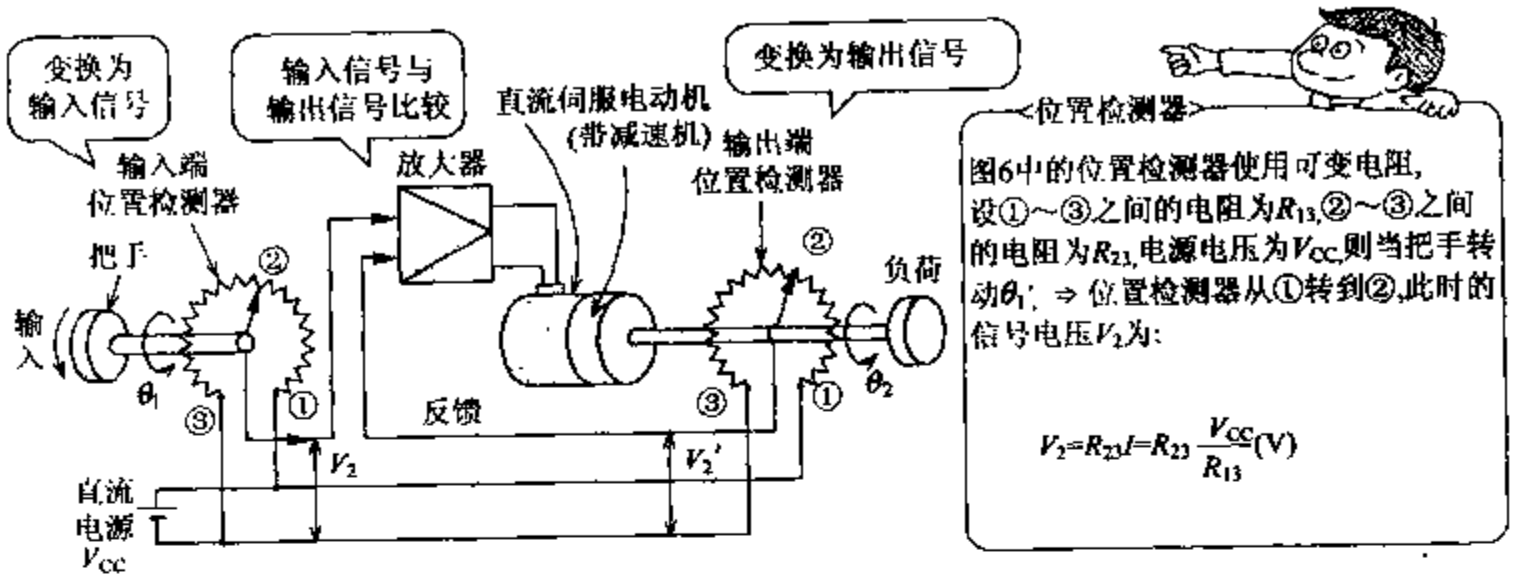


图 6　电气伺服机构的基本结构

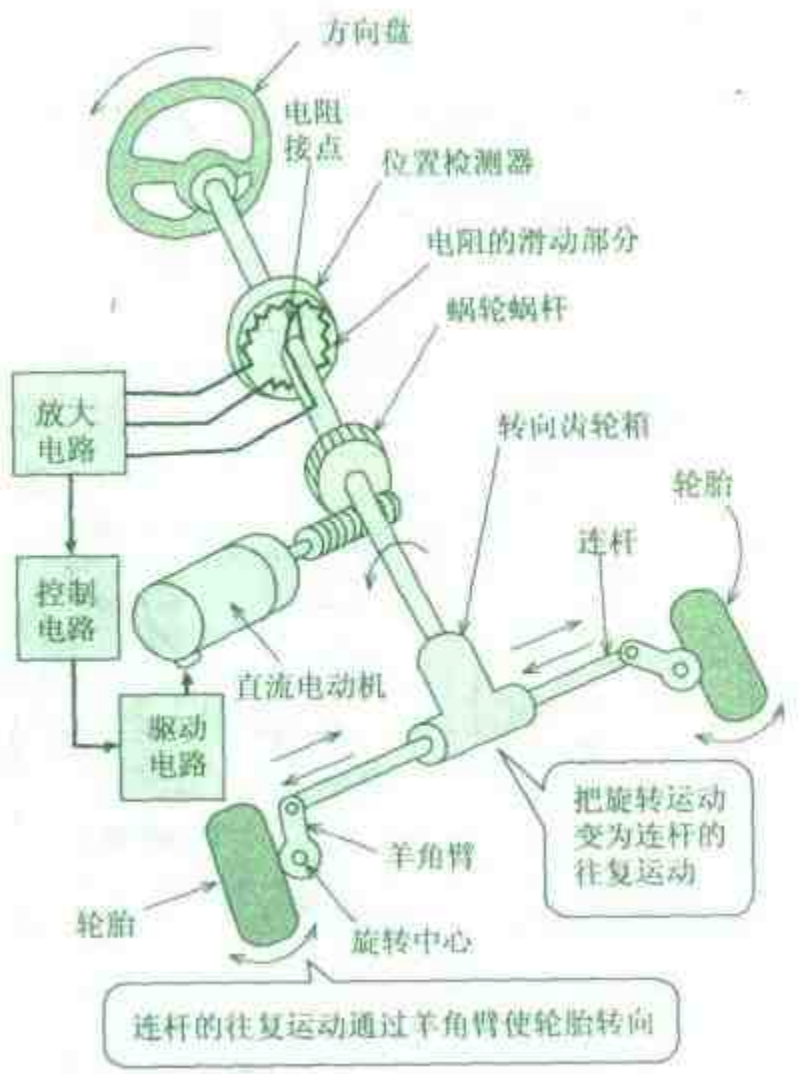


图 7　电气式动力转向装置的原理图

电气式汽车转向装置的动作说明如下：

① 若方向盘转动，则位置检测器的电阻滑动部分就转动，从而使它与电阻接点之间产生移位；

② 此变化引起电阻值的变化，从而使电压也随之变化。通过放大电路放

大、比较(有无移位与移位方向),输出放大后的信号;

③ 由控制电路产生的操作信号,通过驱动电路,使直流电动机旋转;

④ 电动机的旋转经过蜗轮蜗杆减速,使电阻接点往电阻滑动部分的旋转方向移位,把①所产生的移位抵消;

⑤ 电动机旋转减速之后,通过转向齿轮使连杆往复运动;

⑥ 这一往复运动通过羊角臂的传动使轮胎转向;

⑦ 由于①所产生的移位没有直接通过电动机的转动来抵消,所以方向盘与轮胎的转动在时间上稍微有些滞后。

实际使用的控制电路,是采用微机控制的,以车速等数据为基础,对方向盘等进行控制。像这种跟踪输入(方向盘的转动)所进行的控制,在控制类型上可归入跟踪控制。

图 8 是图 7 的控制原理图。可变电阻 R_V 相当于位置检测器的电阻(参见

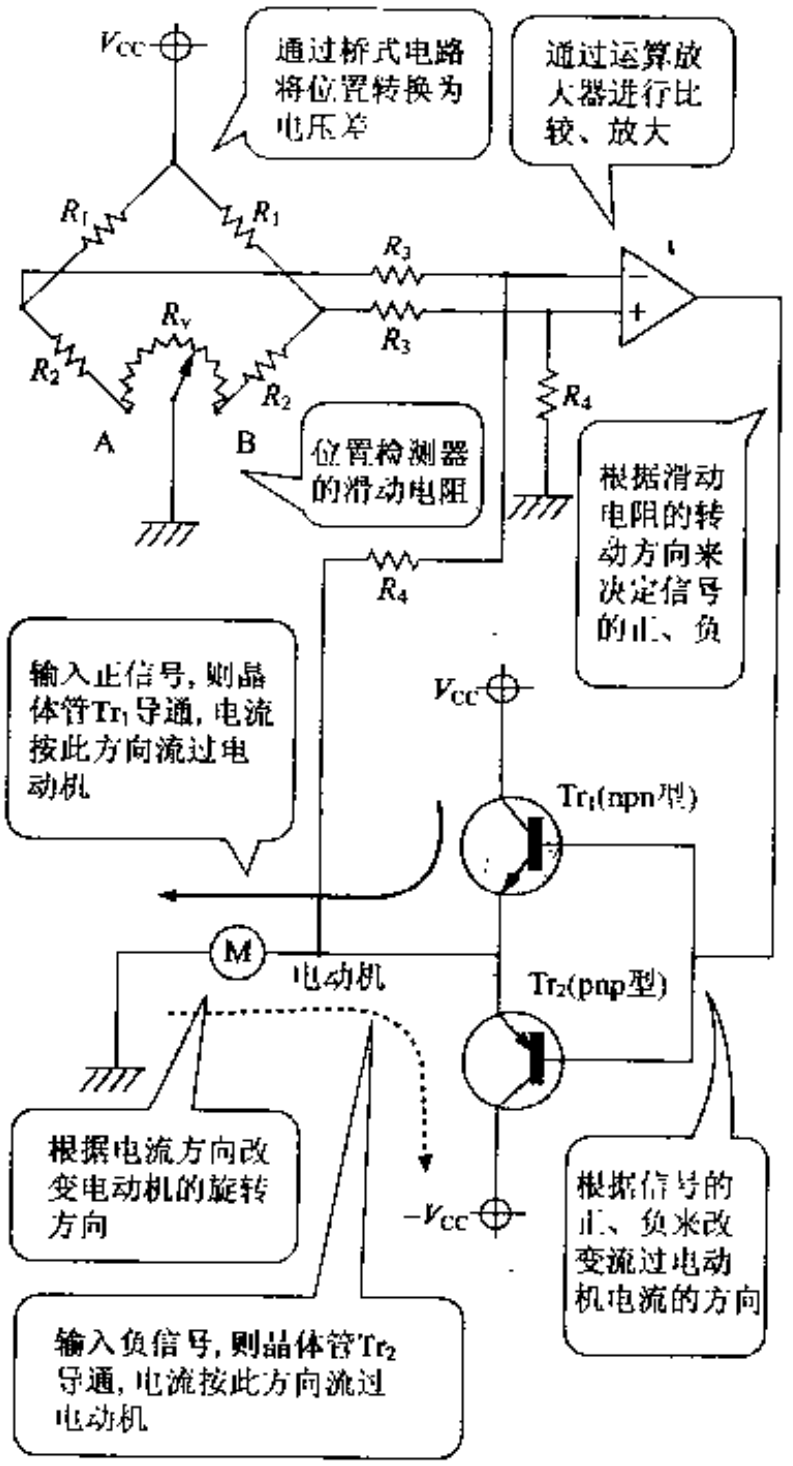


图 8　根据移位对电动机控制的电路原理图

图 9)，滑动电阻的电阻差值就是电压的差值。用运算放大器对这一差值进行检测、放大，转换为操作信号，送到两个晶体管上。信号为正时，Tr_1 导通，信号为负时 Tr_2 导通，以此来决定转动的方向。

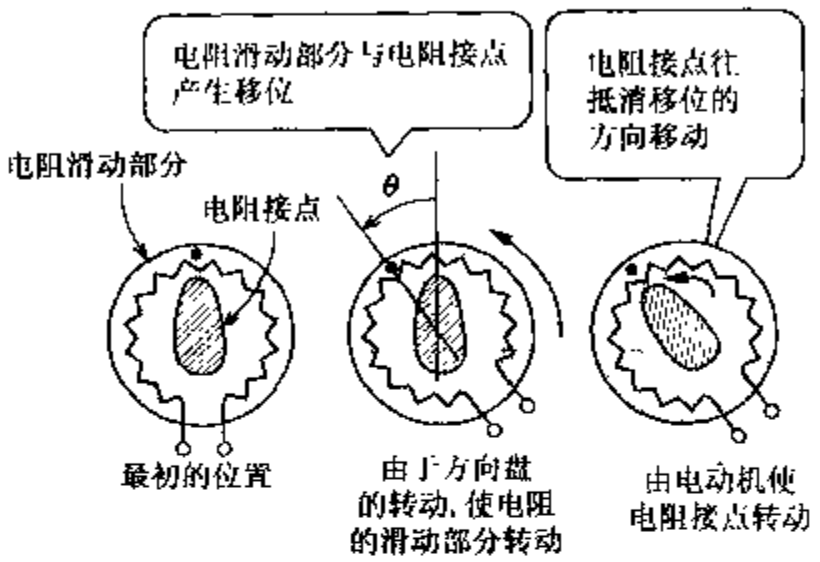


图 9　位置检测部分的动作

Ⅲ　过程控制的定义

过程控制具有“工程”的意思。化学工业(过程工业)中，利用装置进行生产过程等自动控制的方法，称为过程控制。

尽管从家用空调器的控制到大型的石油化工过程控制种类繁多，但其基本要素是相同的。这些要素就是检测、比较判断、调节操作等。

图 10 为热交换装置的原理图。为了对液体 A 进行冷却或加热，要使流过交换器的液体 B 的热量，通过调节阀来调节液体 B 的流量，使液体 A 的温度保持在目标值。

简单热交换器的控制，只要通过调节液体 B 的流量来控制液体 A 的热交换器出口温度就可以了。但对温度的控制精度有较高要求时，就得检测各种必要的控制因素，进行精确的控制。这时，由于判断因素多，电子电路也复杂，所以大多采用微机控制。

过程控制所检测的压力、温度与流量等大多数是模拟量，在采用计算机控制时，必须把它们变为数字量来进行控制处理。

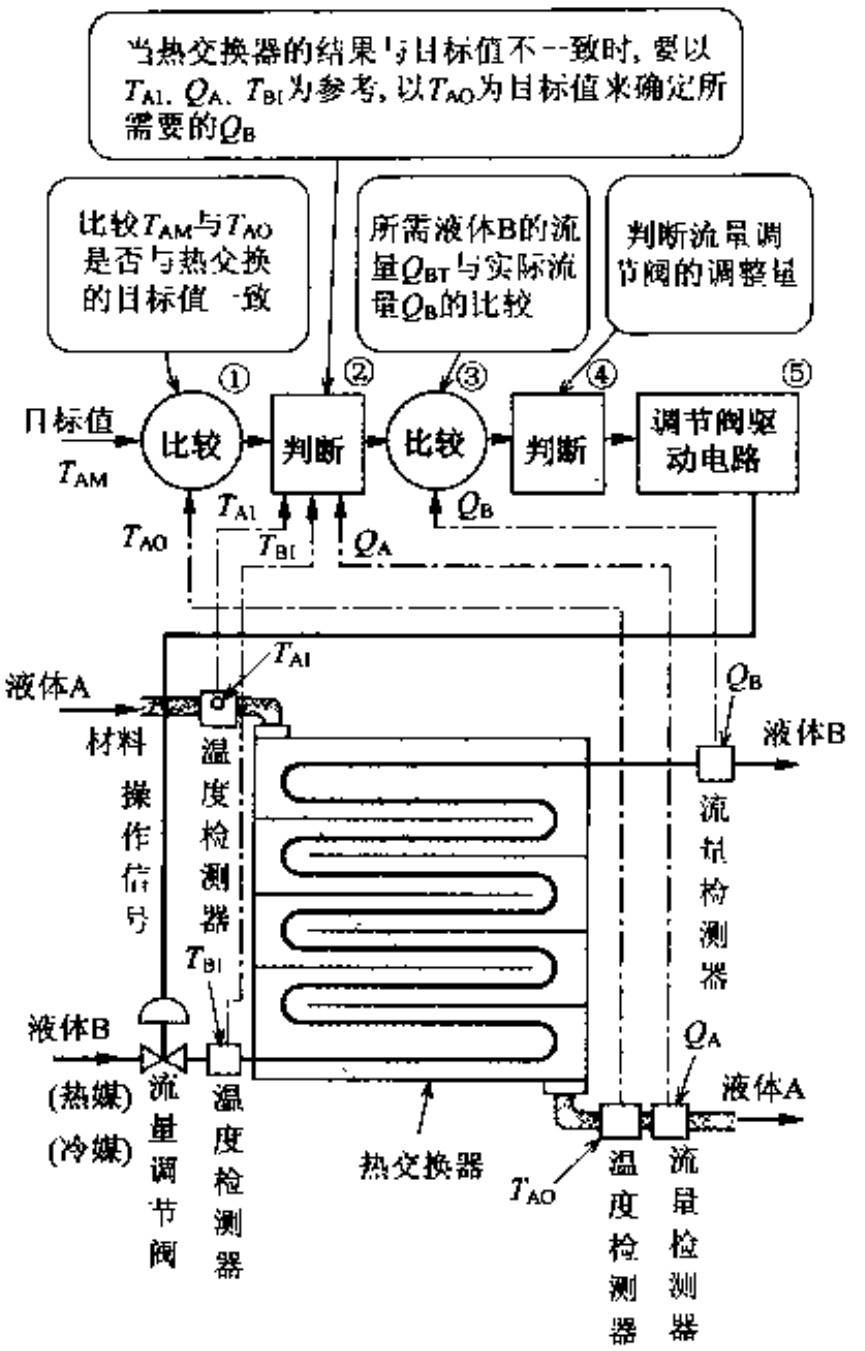


图 10　热交换原理图

练习题

1. 对反馈控制进行简单的说明。
2. 数控机床等所用的工作台移动的控制，用什么控制装置？

解答

1. 将从控制对象得到的检测量与目标量相比较，进行消除其差值的控制。
2. 利用反馈控制的伺服机构进行跟踪控制。

6 模拟控制与数字控制



1 模拟与数字

模拟：是“相似”或“类似”，即“相互类似”的意思。模拟在电气领域使用时，为电气现象的相似。

实际的电气现象大多是连续的曲线（参见图 1）。模拟是“连续的”事物。

数字是用手指来作比喻，虽然“1，2，3…”的断续数字“屈指可数”，但是 1 与 2 之间没法连续表示，只能用“1，2，3…”的断续数字来表示（参见图 2）。数字是“断续的”事物。

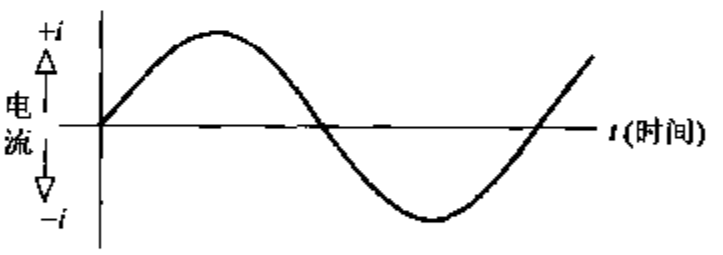


图 1 电气现象的例子

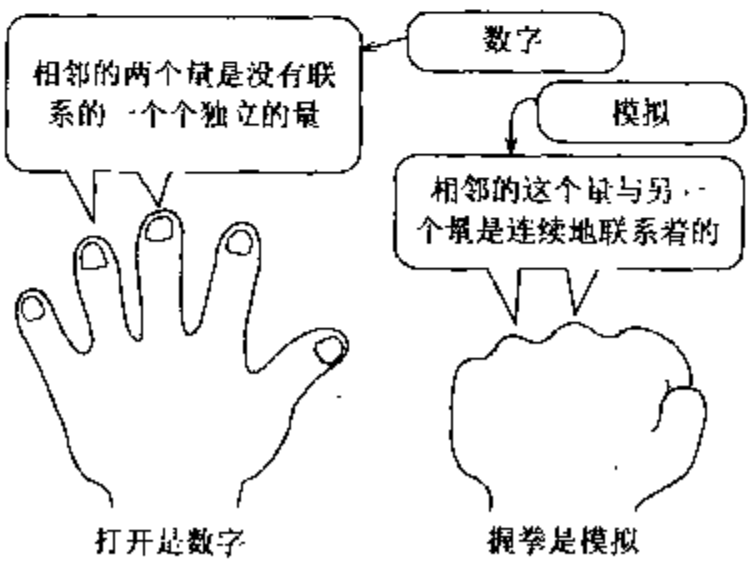


图 2 手与模拟、数字

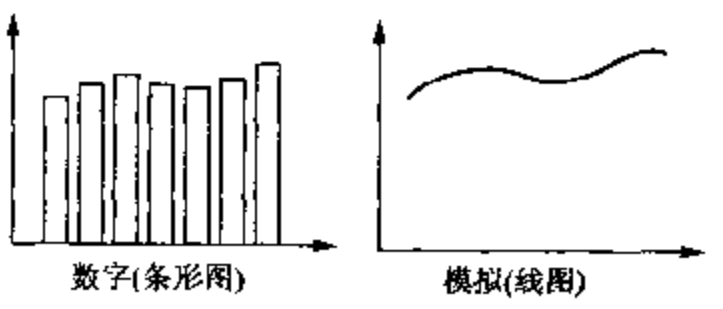


图 3 数字图与模拟图

图 3 是表示数字与模拟的形象的对比图。

1　模拟信号与数字信号

模拟信号：把温度、压力、转速与速度等控制对象的变化作为连续信号处理，就称为模拟信号。其变化主要是对时间的变化(参见图 4)。

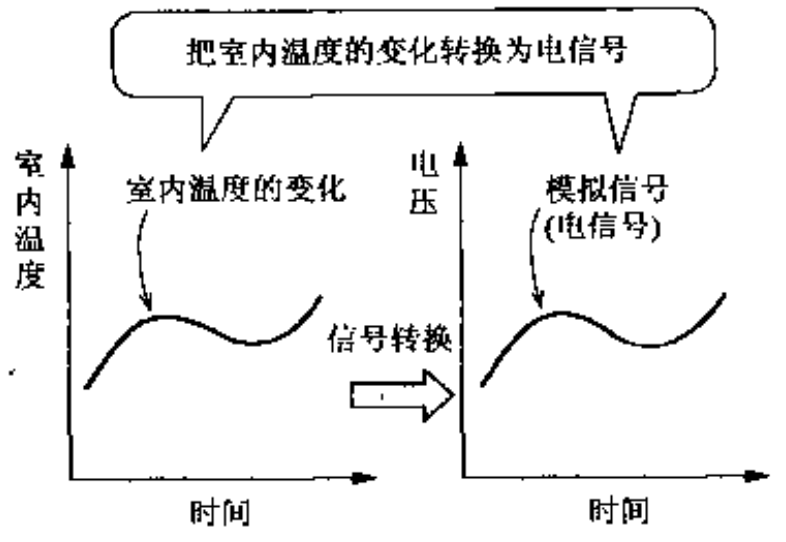


图 4　模拟信号转换的例子

模拟信号多数是电信号，因为：

① **使用方便**　可很方便地利用电力公司或电池所提供的电源；

② **信号易于加工(转换)**　由于电力技术与电子技术的发展，可根据使用目的转换为所需要的信号。

模拟信号几乎是原封不动地从现象本身取得的信号，能以实际的数据来作为输入与输出。如图 5 所示，把室内温度的连续变化，转换为传感器电阻的变化，再转换为信号电压的连续变化。

使用电动机驱动时也是一样，不能瞬间把转速提高到所需要的转速，而是使转速缓慢地上升，用的就是连续控制。

数字信号　在图 6 所示的传送带上，当所传送的物体由光传感器计数时，光传感器就向计数器发出计数信号，其信号为图 7 所示的断续波形。当检测到物体时，波形就上升到高电平；没有物体时，波形就下降到低电平，即数字信号。

数字信号的使用方法有以下两种：

① **计数式**　对传送带上输送的物品进行计数，是根据信号的脉冲数(波形隆起部分的数量)来指示物品数量的方法；

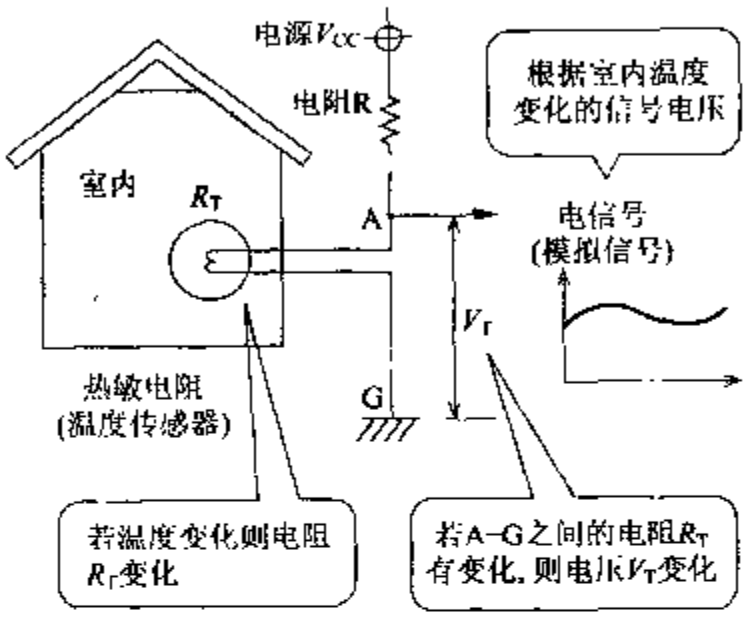


图 5 把温度转换为模拟信号的原理

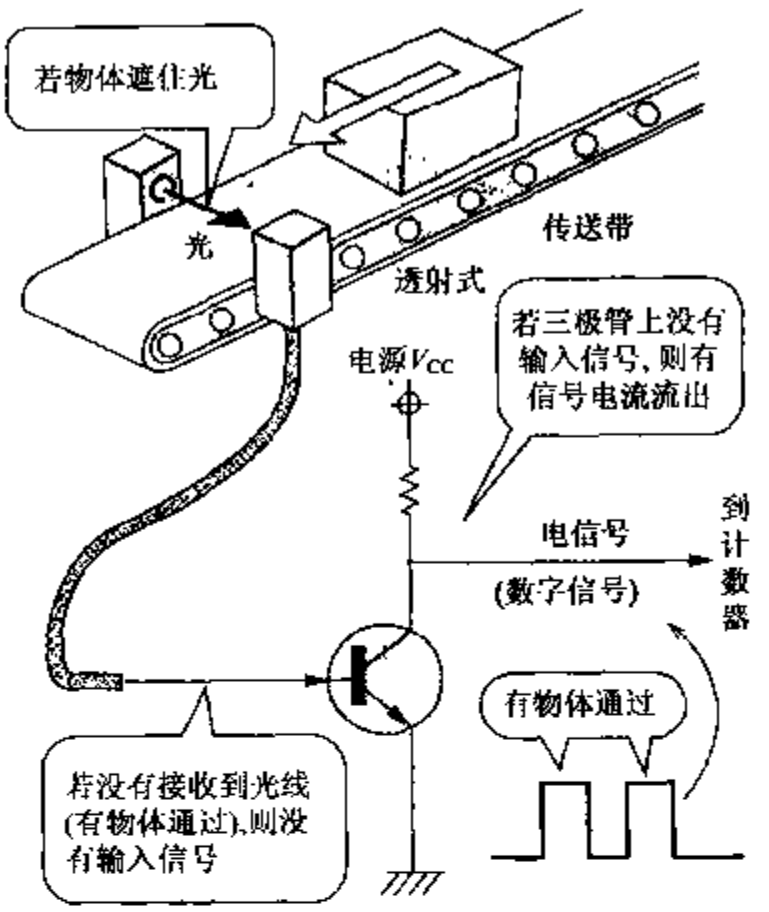


图 6 物体计数的数字信号电路原理图

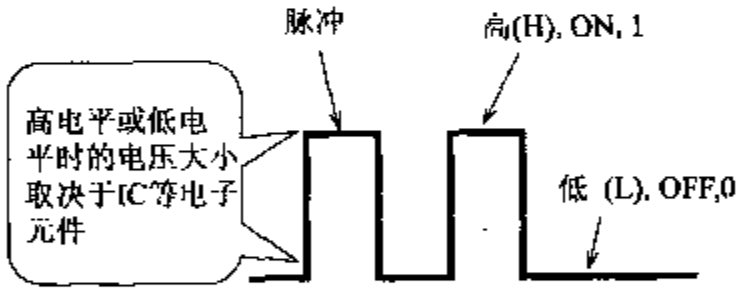


图 7 数字信号

② **编码式** 以数值或符号来表示有间隔(时间等)的数字信号的脉冲数或脉冲的排列等(参见图 8)。



图 8 数字信号与条形码使用法的例子

数字信号只表示图 7 所示的有、无脉冲两种状态。

有脉冲：高(High)，ON，1；无脉冲：低(Low)，OFF，0。

Ⅲ 模拟控制与数字控制

模拟控制 例如电动机的转速与电灯的亮度控制，用的是连续控制的方法。简单的模拟控制，是通过控制可变电阻 Rv 来使直流电动机的转速连续变化的(参见图 9)。

以可变电阻连续变化产生的电流作为输入，采用直流晶体管放大电路的驱动电流，称为信号的处理，流过直流电动机的电流为输出。这样的控制流程，用模拟信号连续地进行控制称为模拟控制。

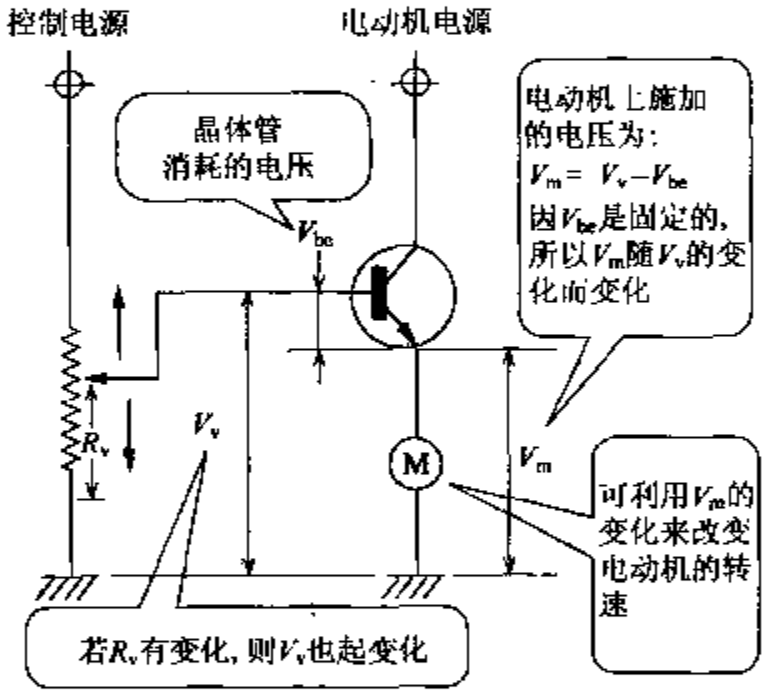


图 9 直流电动机的连续转速控制(模拟控制的简单例子)

模拟控制的信号处理除了放大之外，还有运算、比较、调制、振荡等的处理。控制元件除了晶体管之外，还有如图 10 所示的运算放大器(一种模拟集成电路(IC))。简单说明一下应用运算放大器进行控制的基本电路。

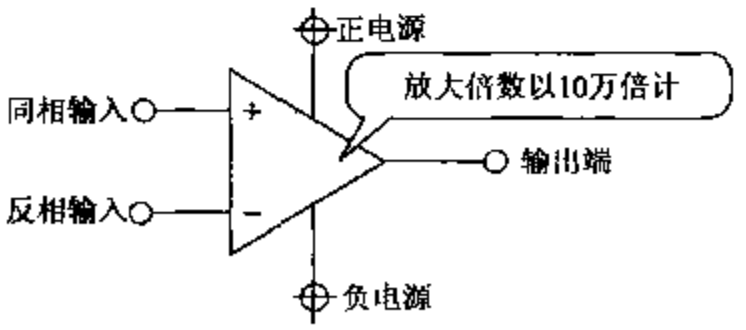


图 10 运算放大器的基本引线图

〈放大电路〉

运算放大器本身的放大倍数(输出输入之比)根据种类不同而不同,最大可达 10 万倍。一般要将放大后的一部分返回到它自己的输入端,以调整放大倍数,这种方式称为反馈。

输入的方法有两种:一种称为同相输入,是将输入加在同相输入端,其输出与输入的极性(正、负)相同;另一种称为反相输入,是将输入信号加在反相输入端上,其输出与输入的极性相反(参见图 11～图 13)。

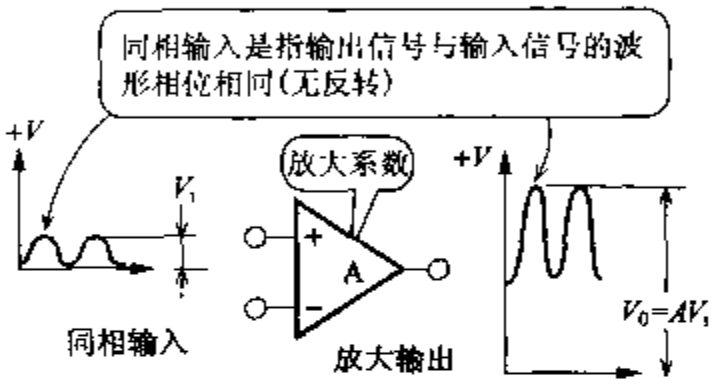


图 11　同相放大

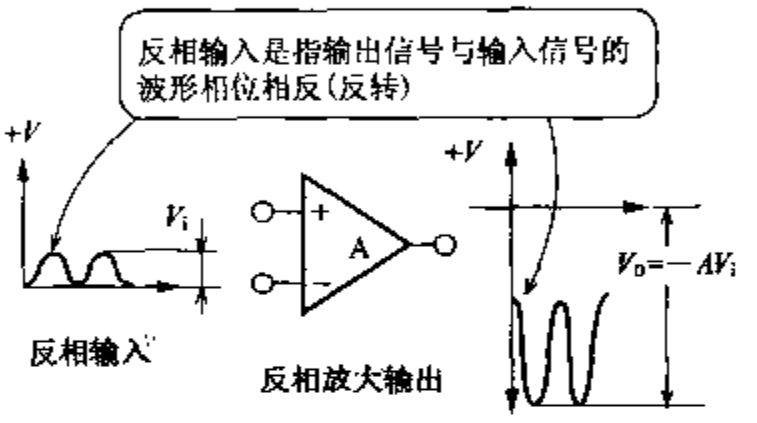


图 12　反相放大

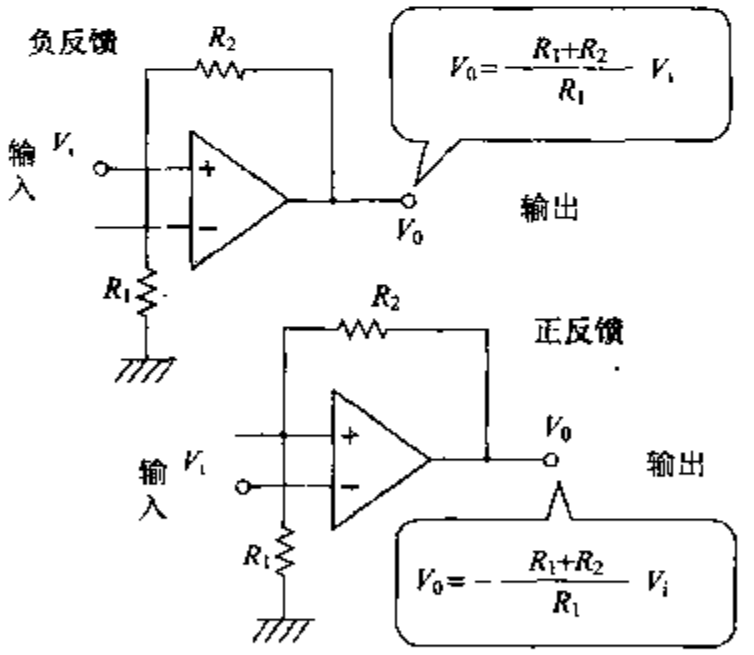


图 13　通过反馈来调整放大系数

〈运算电路(差动放大电路)〉

差动放大电路是运算电路中经常使用的电路。这种电路可以通过将两个输入信号(V_1 与 V_2)分别加在同相输入端或反相输入端,将两个输入信号电压之差(V_1-V_2)放大(参见图 14)。

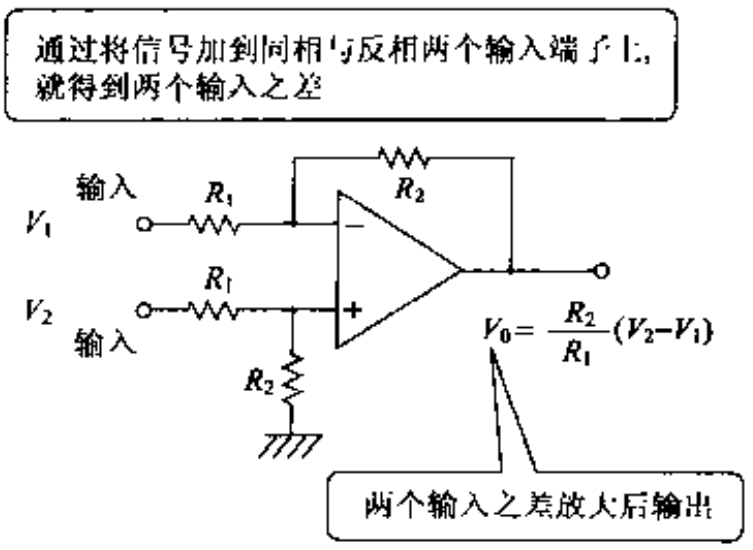


图 14　差动放大电路

数字控制　若将直流电动机转速由模拟控制改为数字控制，可对电动机的转速进行分段控制(参见图 15)。

数字控制的最简单控制是对电动机等进行启动、停止的控制。当数字信号(脉冲信号)为高电平(1)时，电动机启动；当数字信号为低电平(0)时，电动机就停止(参见图 16)。

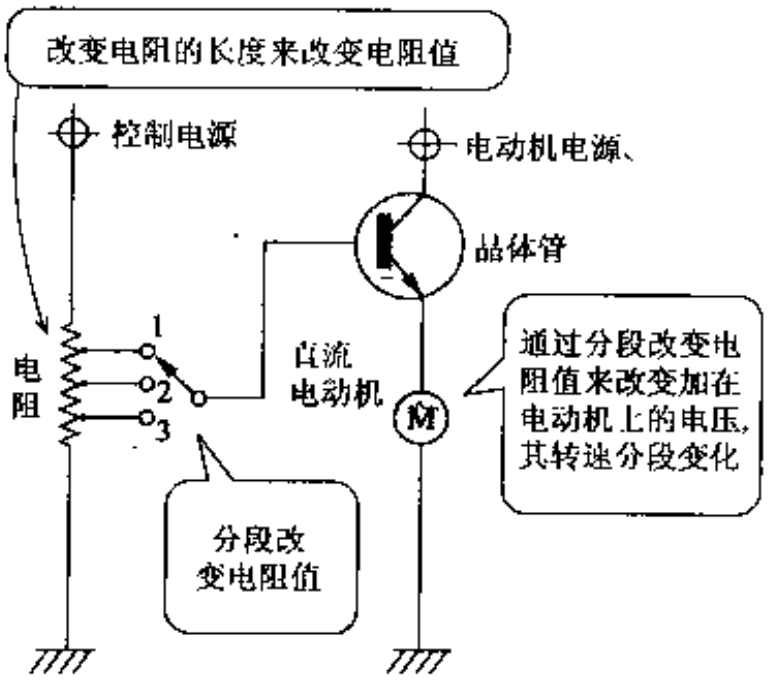


图 15　直流电动机转速的分段控制

数字控制是用数字信号进行输入、输出处理，用与(AND)电路、或(OR)电路、数字 IC 和三极管等数字电路作为控制元件。

典型的数字控制处理功能有以下几种：

① **比较**　比较两个数据的大小(逻辑电路的组合、专用 IC)；

② **运算**　加法、减法和除法等(逻辑电路的组合、专用 IC)；

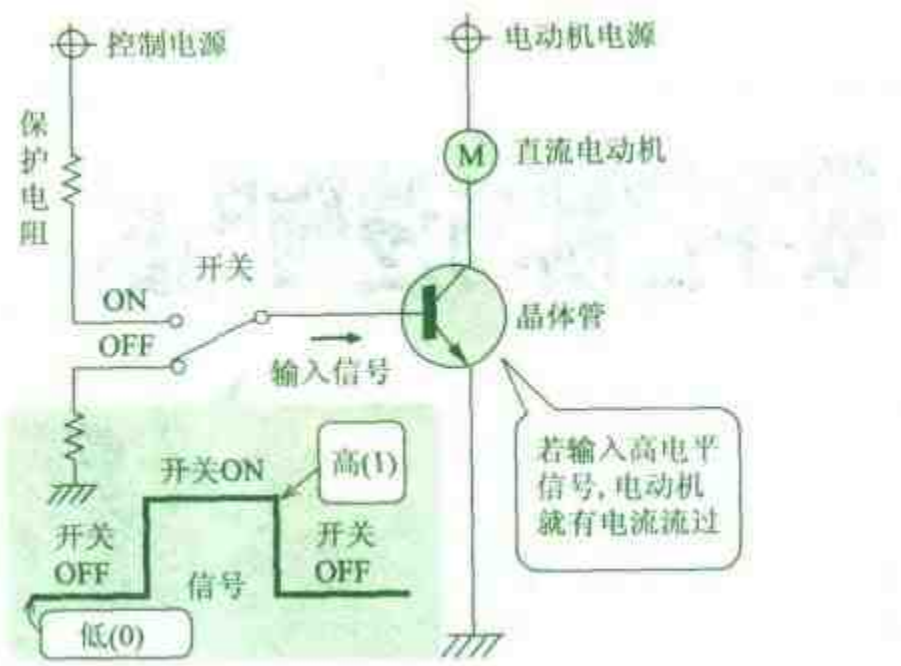
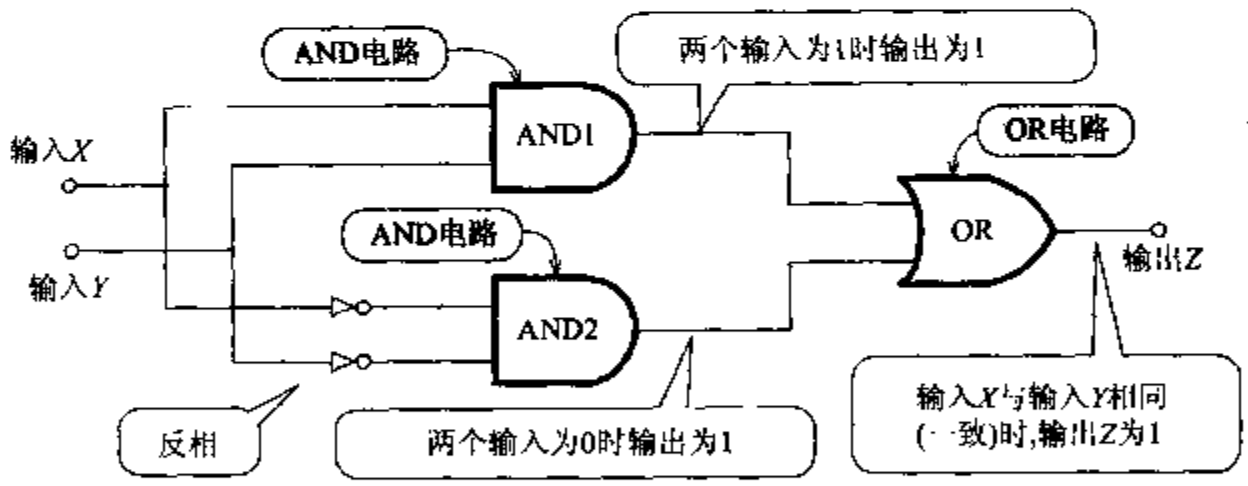


图 16　直流电动机的启动、停止控制

③ **计数**　脉冲计数、时间的测量等(触发电路、专用 IC 等)。

练习题

1. 验证下面的比较电路(一致电路)的真值表



一致电路的真值表

输入		输出
X	Y	Z
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	1

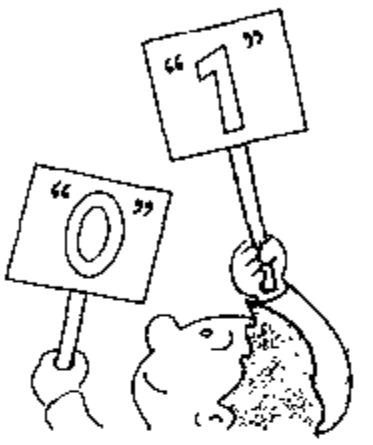
解答

AND 电路 1，是当两个输入均为 1 时，输出为 1；

AND 电路 2，因其输入反相，初始输入的 X 与 Y 双方均为 0 时，输出为 1；

最后，OR 电路只有当输入 X 与 Y 都是 1 或 0 时，输出才为 1。

7 数字控制与逻辑电路



1 对数字控制的进一步思考

复习一下有关数字控制的内容：

① 数字控制是指对电动机的启动、停止或对转速高速、中速、低速的分段断续控制(参见图 1)；

② 控制信号是表示高电平(1)和低电平(0)两种状态的数字信(图 2)号，输入、输出各部分的控制，都通过数字信号来实现；

③ 使用逻辑电路等对数字信号进行处理；

④ 因输入、输出都用数字信号，所以在必须使用模拟信号时，也要将它转换成数字信号来进行控制处理。

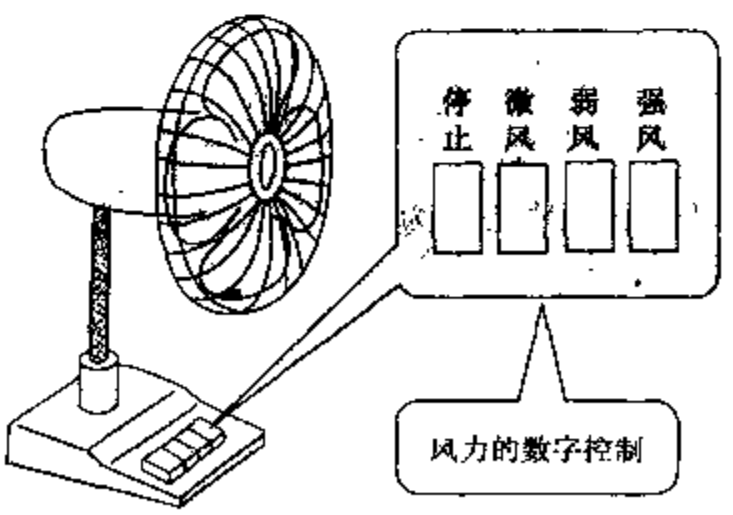


图 1　电风扇的数字控制

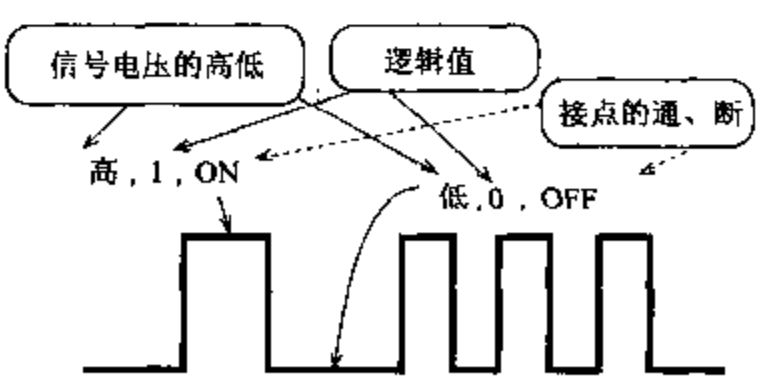


图 2　数字信号

关于数字信号，因已在前一节说过，大体上已经有所了解。关于逻辑电路，还叙述得不够充分，因此，先以逻辑电路为中心进行介绍。

Ⅱ 逻辑电路的定义

“逻辑”，听起来似乎难以理解，其实很简单。逻辑实际上只不过是用“1”与“0”两个数字来处理日常生活中的一些技术问题。

对“1”与“0”的运算，要用到逻辑表达式，利用逻辑表达式设计的电子电路，称为逻辑电路。

由于数字控制是按目标进行控制的，所以对应于以“1”、“0”为输入的信号，也要输出用逻辑电路处理过的“1”、“0”的输出信号。逻辑电路就是以实现输出信号为目的的，由逻辑元件组合而成的电路。

Ⅲ 逻辑元件

按逻辑电路所规定的输入信号（多个）来输出目的信号，利用三极管、二极管以及电阻等元件制成电路，并把这些电路集成化就称为数字集成电路（数字IC）。通常也将组成基本逻辑表达式的电子电路称为**逻辑元件**。

基本逻辑元件有与（AND）电路、或（OR）电路和非（NOT）电路。另外，还有与非（NAND）电路、或非（NOR）电路和触发电路等。

Ⅳ AND 电路

例如在图 3 所示的压力机安全装置中，操作员必须用双手将两个开关同时按住，压力机的上模才会压下来，这样，就避免了手伸进上下模之间而被夹伤。这个安全装置的控制电路就使用了 AND 电路（参见图 4）。

AND 电路只有在全部输入信号均为“1”时，输出信号才为“1”，其他情况下输出信号都为“0”（参见图 5）。

真值表是表示输入与输出关系的数据表。AND 电路的逻辑表达式为 $Z=X\cdot Y$（称为逻辑与）。运算结果如表 1 所示。

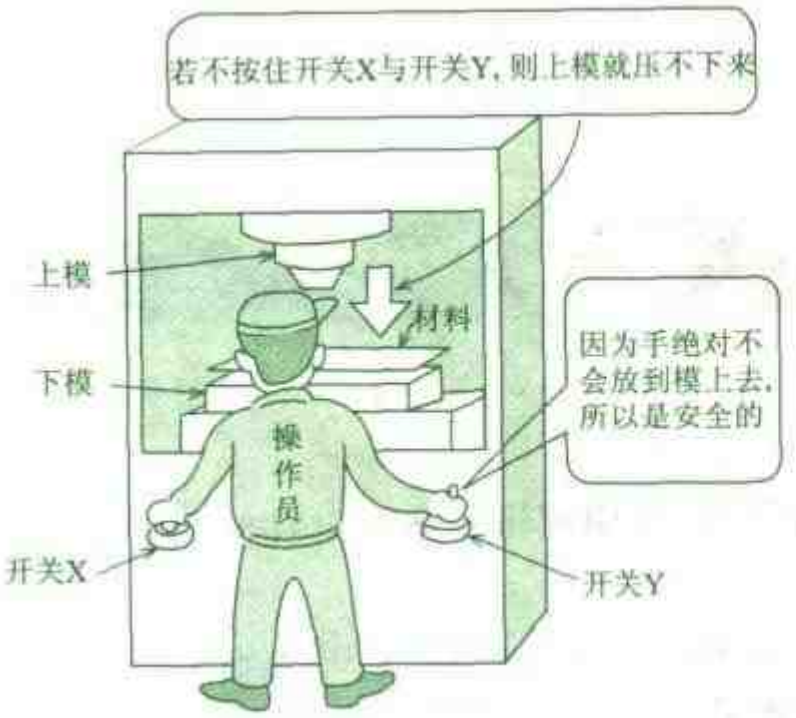


图 3 压力机的安全装置

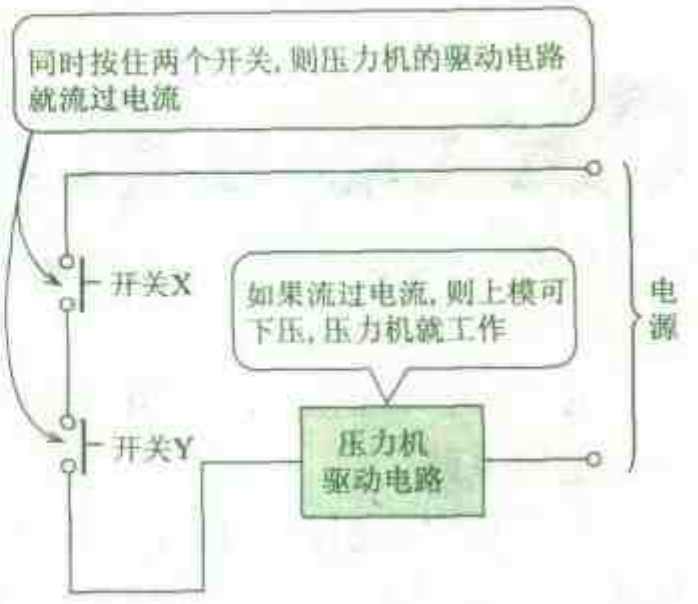


图 4 安全装置电路原理图

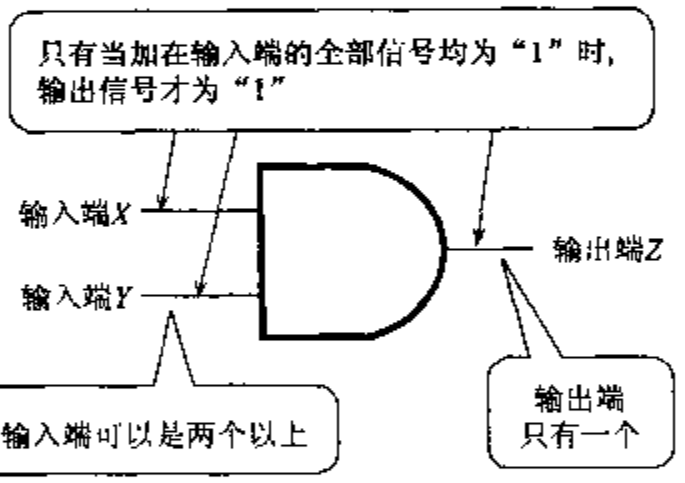


图 5 AND 电路的逻辑元件符号

表 1 AND 电路的真值表(双输入)

输入信号		输出信号
X	Y	Z
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

只有当全部输入信号均为1时，输出信号才为1

输入信号值　输出信号值

V OR 电路

想要下车的乘客按一下公共汽车车门的控制按钮，驾驶员位置上的灯就会亮，车门会被打开。这使用的是 OR 控制电路(参见图 6)。

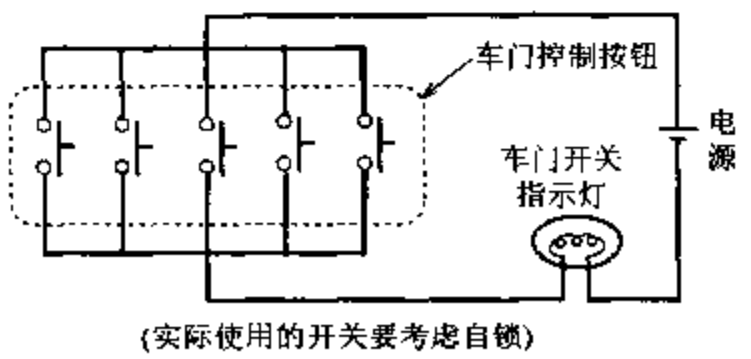


图 6 车门控制系统的原理图

OR 电路中若任意一个输入信号为“1”，则输出信号就为“1”，只有所有输入信号均为“0”时，输出信号才为“0”(参见图 7)。

OR 电路的逻辑表达式为 $Z=X+Y$(逻辑或),其运算结果如表 2 所示。

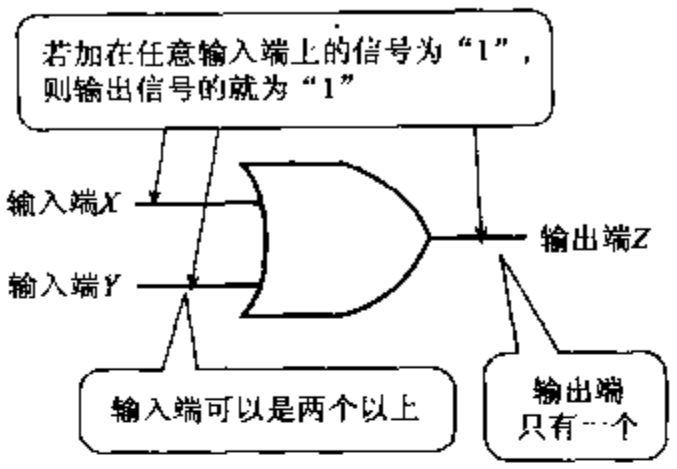


图 7　OR 电路的逻辑元件符号

表 2　OR 电路的真值表(双输入)

输入信号		输出信号	
X	Y	Z	
0	0	0	
0	1	1	任意输入信号为1时，输出信号就为1。
1	0	1	
1	1	1	

Ⅵ　NOT 电路

NOT 电路是将输入为“1”的输入信号反转为“0”;把“0”输入信号反转为“1”的电路,称为反相器(参见图 8)。

使用 NOT 逻辑元件组成的逻辑电路用于使信号反转的时候。NOT 电路的逻辑表达式为 $Z=\overline{X}$(逻辑非),其运算结果如表 3 所示。

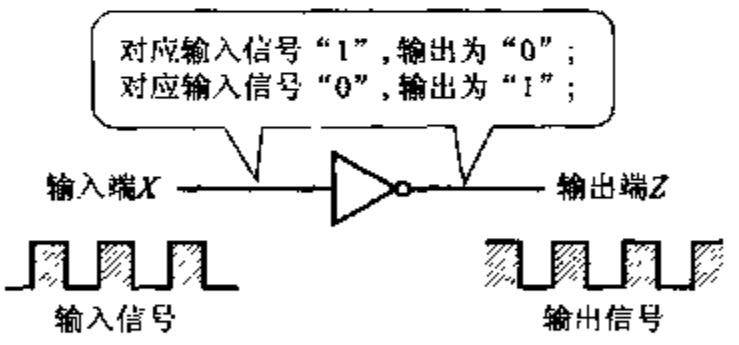


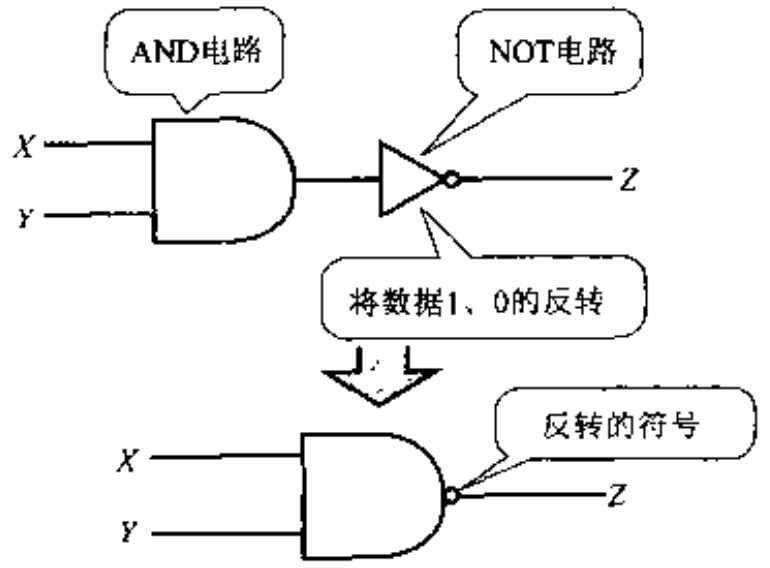
图 8　NOT 电路的逻辑元件符号

表 3　NOT 电路的真值表

输入信号	输出信号	
X	$Z=\overline{X}$	
1	0	$\overline{X}$是将X反转(反相)的意思。
0	1	

Ⅶ　NAND 电路

NAND 电路是将 AND 电路的输出反转的电路(参见图 9)。NAND 的逻辑表达式为 $Z=\overline{Z\cdot Y}$(参见表 4)。



NAND电路的逻辑元件符号

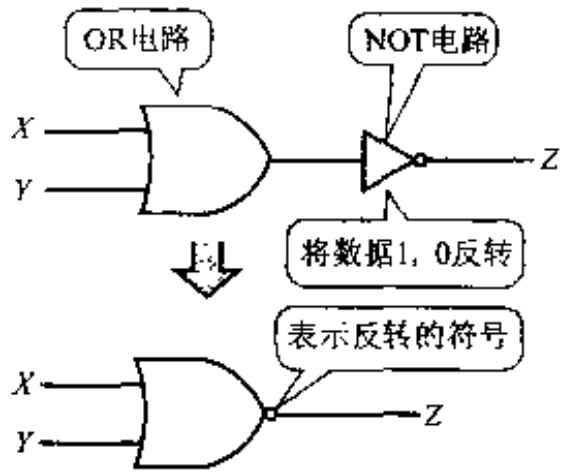
图 9　NAND 电路

表 4　NAND 电路的真值表(双输入)

输入信号		输出信号	
X	Y	Z	
0	0	1	与AND电路的输出比较可知，已将输出信号反转
1	0	1	
0	1	1	
1	1	0	

Ⅷ　NOR 电路

NOR 电路是将 OR 电路的输出反转的电路(参见图 10)。NOR 电路的逻辑表达式 $Z=\overline{Z+Y}$(参见表 5)：



NOR电路的逻辑元件符号

图 10　NOR 电路

表 5　NOR 电路的真值表(双输入)

输入信号		输出信号	
X	Y	Z	
0	0	1	与OR电路的输出比较可知，已将输出信号反转
1	0	0	
0	1	0	
1	1	0	

Ⅸ　制作一个简单的数字电路

如图 11 所示，有两个开关 A、B 与两盏灯 L_1、L_2，设计一个按表 6 动作的电路。

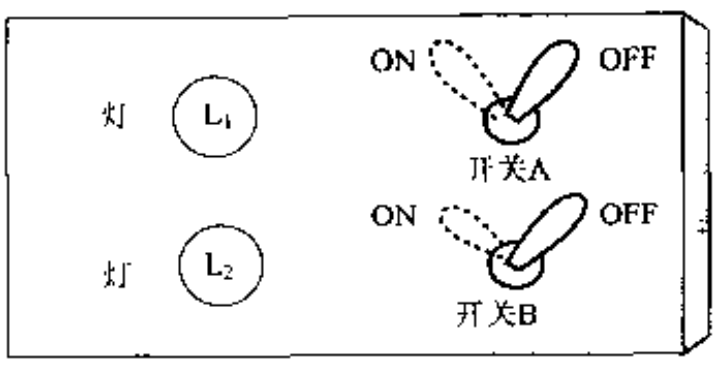


图 11 开关与灯

表 6 真值表

输入信号		输出信号	
A	*B*	L_1	L_2
0	0	0	0
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	0	0

1 ⟺ ON

0 ⟺ OFF

首先考虑在虚线范围内的动作

① 当开关 A 闭合(ON,1)时,若开关 B 断开(OFF.0),灯 L_1 亮;若开关 B 闭合时,灯 L_1 熄灭。

② 当开关 A 断开时,无论开关 B 闭合或是断开,灯 L_1 均熄灭。

将①②组成电路,则如图 12 所示。

满足灯泡 L_2 的条件,只要将图 12 中的开关 A、B 调换连接即可。因此,按表 6 要求所组成的电路就如图 13 所示。

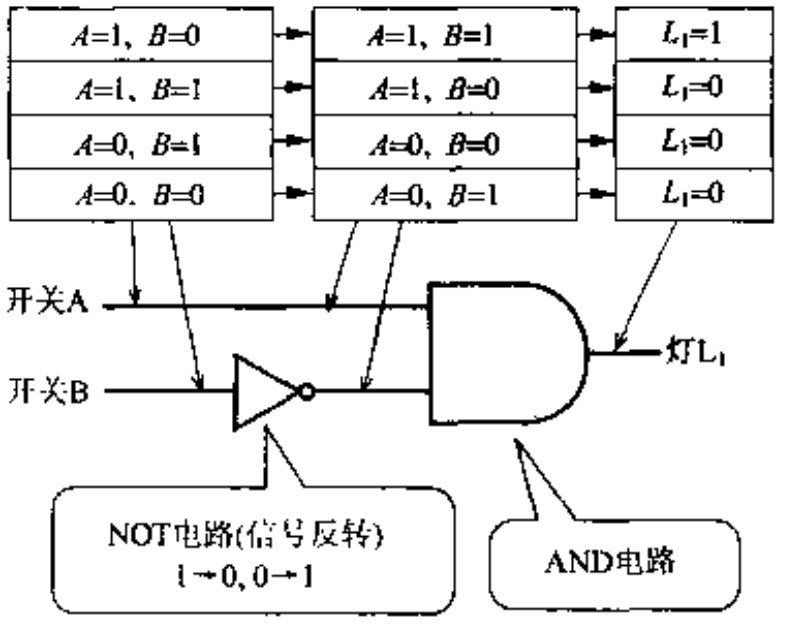


图 12 只有 L_1 时

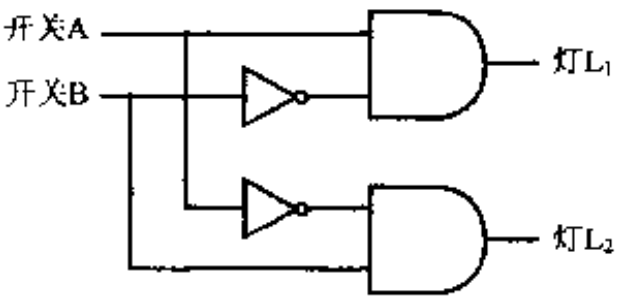


图 13 L_1、L_2 亮灯电路

练习题

1. 多个输入信号全部为 ON 时,输出才为 ON 的电路是什么电路?

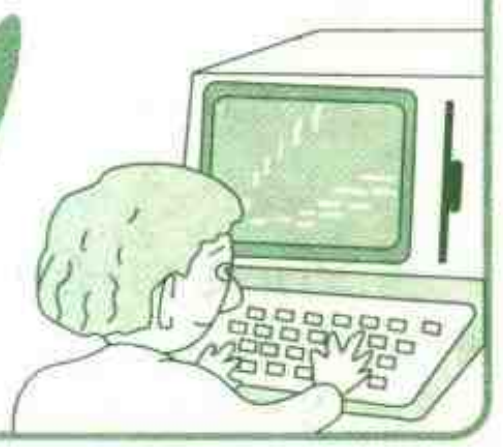
2. 多个输入信号全部为 OFF 时,输出才为 ON 的电路是什么电路?

解答

1. AND 电路。

2. NOR 电路。

8 微机与微机控制



Ⅰ 微机控制的定义

以开关或传感器等的信号为依据，进行输入、输出操作信号的判断就是控制。我们已经学过了使用模拟电路和数字电路等电子电路的控制电路。现在介绍使用计算机(微机)来取代控制电路，按照程序进行的控制(参见图 1)。

Ⅱ 微机的定义

微机是将诸多功能(控制、运算、存储、输入、输出)集成后所构成的小型化的计算机。微机的内部，由各种功能单元构成(参见图 2)。

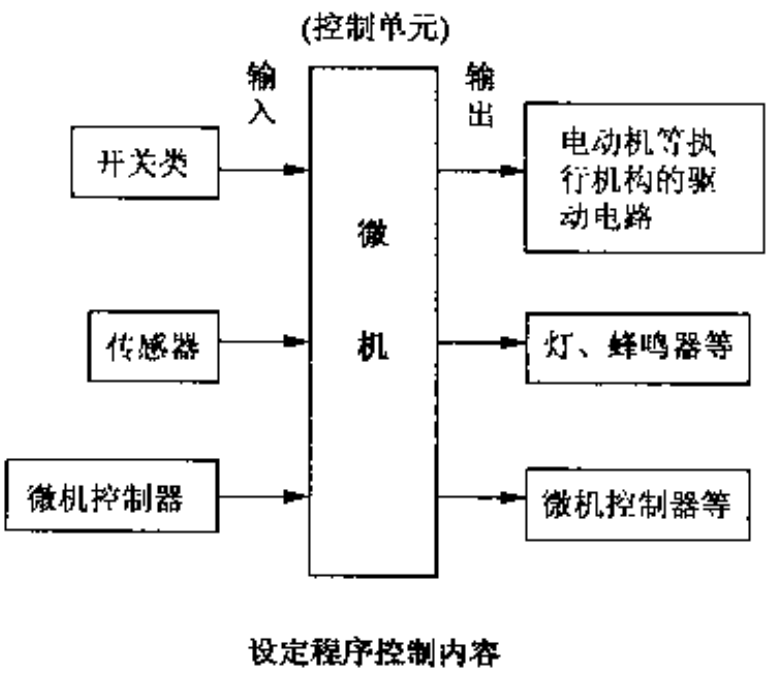


图 1　微机控制

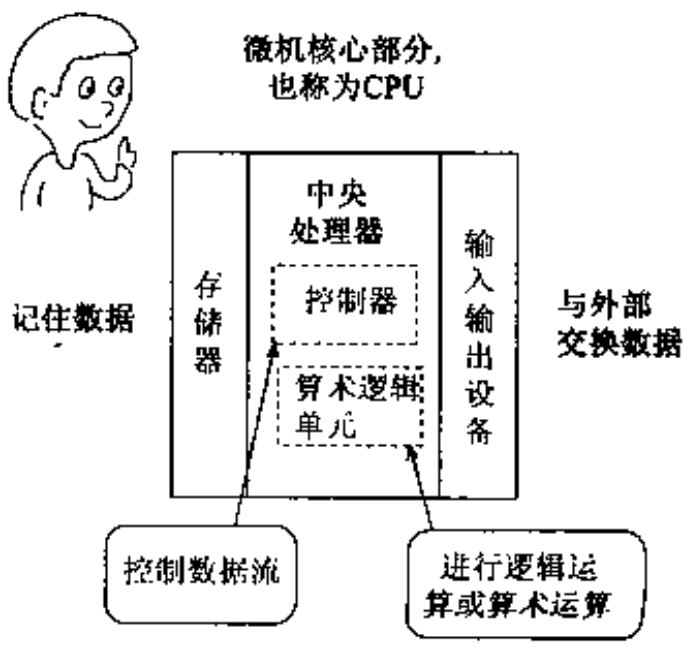


图 2　微机的结构

中央处理器 由控制器和算术逻辑单元构成，微机的大部分工作均在此完成。

控制器 根据程序(命令)，对数据流与各单元的功能进行控制。

算术逻辑单元 进行逻辑运算或算术运算。

存储器 存储数据或程序。

输入输出设备 与微机外部进行数据交换。

集成化

集成化是将三极管、二极管与电阻等元件微型化，集成在半导体基片上，在微小的面积上制成的电子电路，有以下几种：IC(Integrated Circuit)集成电路、LSI (Large Scale Integration) 大规模集成电路，以及 VLSI(Very LSI) 超大规模集成电路。

Ⅱ 中央处理器的构成

中央处理器也称为**CPU**，其集成化的部分称为**微处理器**。由**控制器**与**算术逻辑单元**构成，微机的大部分工作在此完成(参见图 3)。

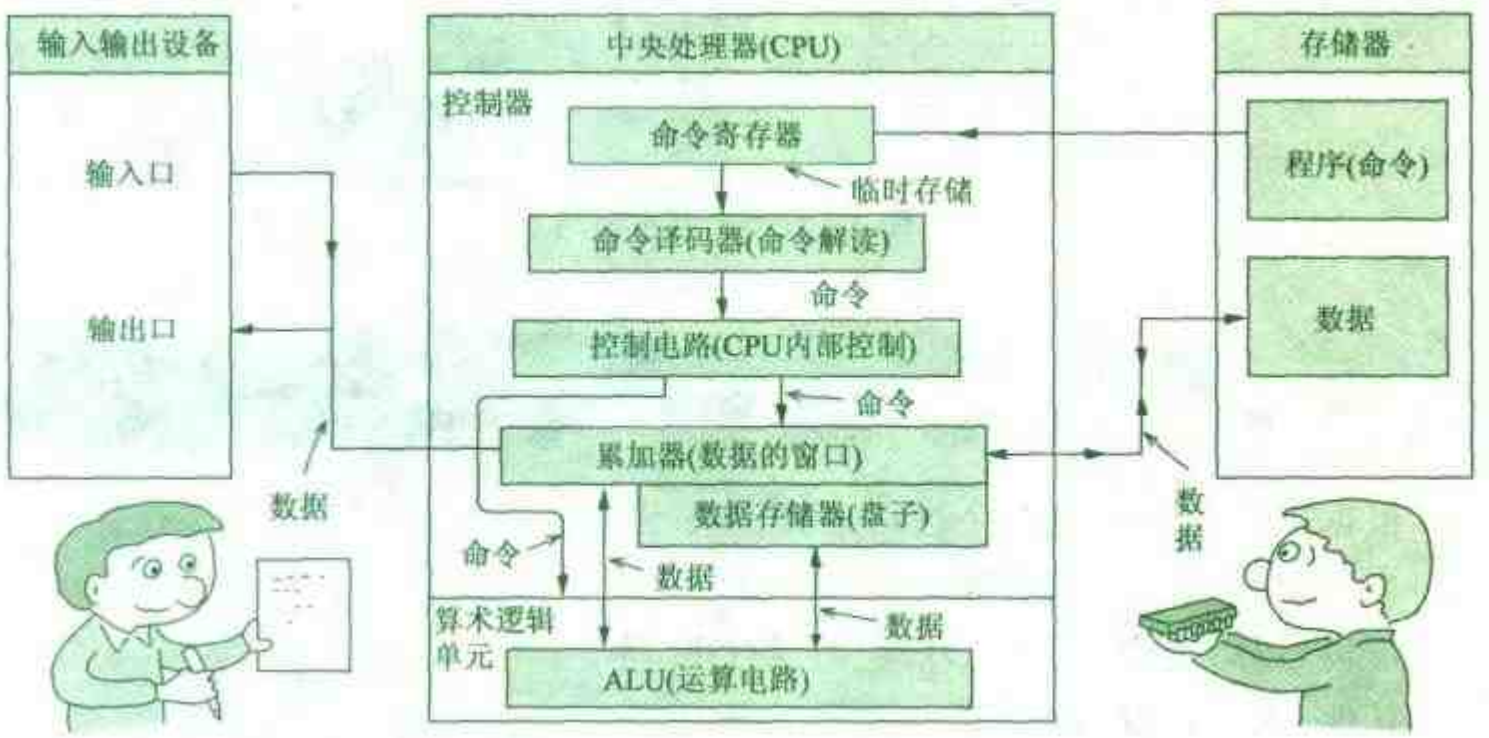


图 3 中央处理器的构成

Ⅳ 控制器的作用

控制器有下列的基本作用：

① 从存储器取出命令(程序)；

② 解读命令并发出执行指令，向算术逻辑单元发出加、减运算等指令；

③ 把数据存放到存储器，发出读入数据的指令；

④ 发出将数据输入、输出的指令。

数据的流向如图4所示：

① 输入输出设备与存储器的数据交换，通过累加器(A寄存器)进行(数据的窗口)；

② 将数据输入各寄存器(A、B、C、D、E、H、L)中，进行寄存器之间的运算等。

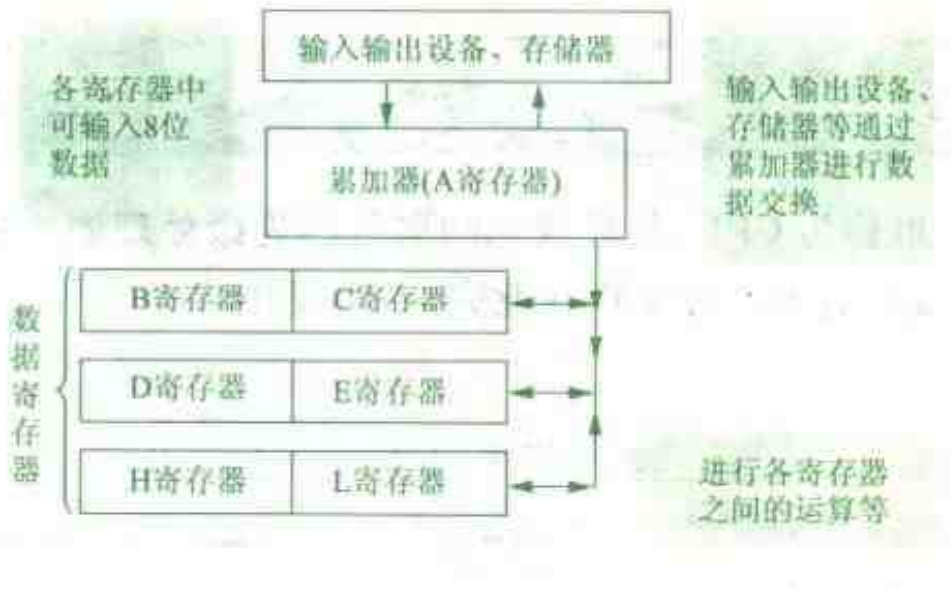


图4 数据的基本流向

Ⅴ 算术逻辑单元的作用

根据来自控制器的命令进行运算。

算术运算：加法、减法等。

逻辑运算：逻辑与(AND)、逻辑或(OR)等。

其他：大小比较、移位等。

Ⅵ 信号及其编码

中央处理器中的数据等信号不是只用一个信号，而是同时使用四个以上信号(参见图5)。一个信号只能表示“1”与“0”两种状态，若使用4个信号来编码，就可以表示16(=2^4)种数值(参见表1)。

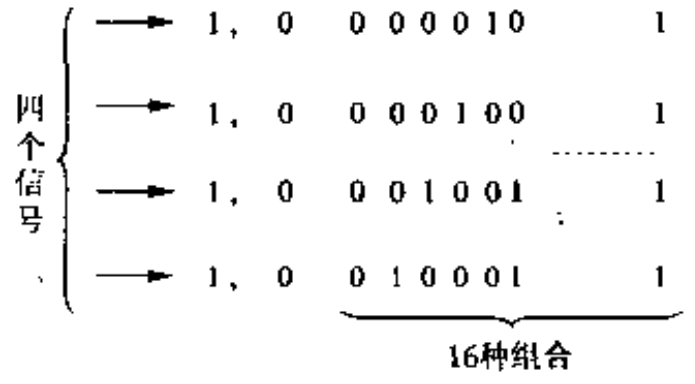


图5 4个信号的组合

表1 四位信号的编码

第3位	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
第2位	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
第1位	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
第0位	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
十六进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

注：十六进制中的字母用来表示一个数值

对计算机来说，可以把一根信号线作为1位，四根信号线就是4位。一般以4位作为一个单位，可用于十六进制数的编码。同时处理8位，则可得到两个十六进制数。

Ⅶ 存储器的构造

存储器又称为内存单元，可分为随机存储器(RAM)与只读存储器(ROM)两种类型。

RAM(random access memory)是可以写入与读出程序和数据的随机存储

器，一般若切断计算机的电源，则其存储的内容就会全部消失。

ROM(read only memory)是只读存储器，用于事先存放计算机自身控制的程序(监控程序、操作系统等)或子程序等。即使切断计算机的电源，存储内容也不会丢失。

Ⅷ　存储的单元与地址

地址　存储器能同时处理的以位为单位(8 位、16 位等)的存储地址。把存储单元加上地址码，就易于知道存储的地点。地址码也称为地址，可用 16 位二进制数(4 位十六进制数)表示整个存储器的连续地址(参见图 6)。

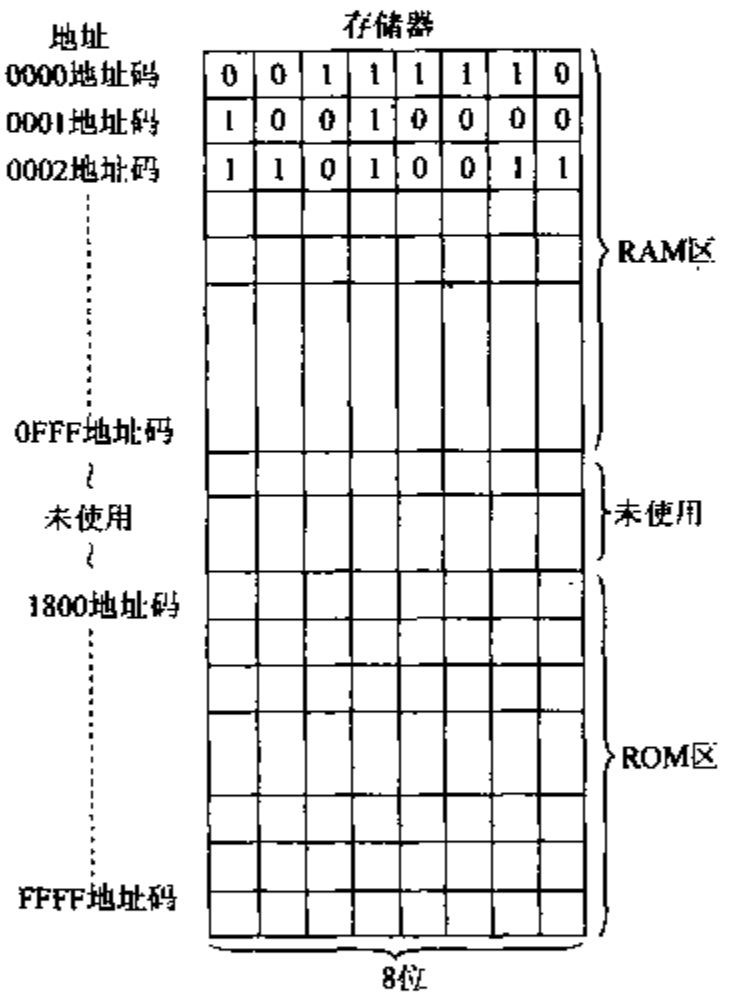


图 6　8 位存储器与地址的例子

位与计算机

8 位计算机或 16 位计算机，是指能同时处理 8 位或 16 位信号的计算机。

普通 8 位机，中央处理器为 8 位，存储器、输入输出设备等都能够同时处理 8 位信号。16 位机的中央处理器等都是 16 位(信号均为数字信号)。

Ⅸ 输入输出设备的结构

输入输出设备是与外部进行信号交换的地方。如果把信号输入端或信号输出端称为端口，那么其中一个是能同时处理位数所引出的端子。端口的数量以个为单位，根据输入输出所用 IC 种类的不同可实现 1～4 个端口的各种组合。

现在，对 8255 芯片(三个口)的输入输出接口专用 IC 的用法进行说明。

如图 7 所示，在方式 0 的状态下，任意一个端口都不能既作数据输入端口，又作数据输出端口。规定某个端口是输入端口，则该端口决不能再作为输出端口用。

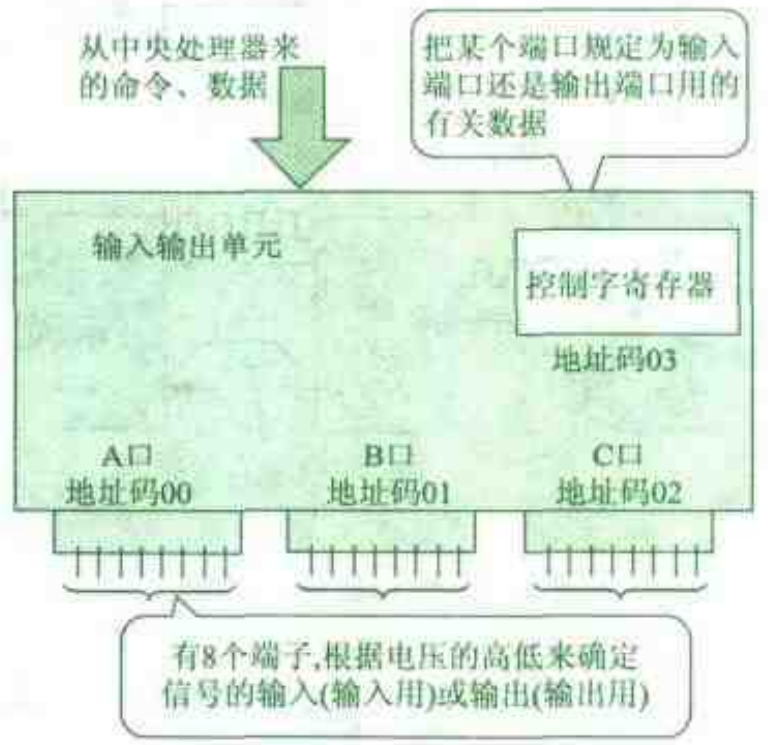


图 7　8 位信号所用的输入输出设备例子

通过程序来分配输入输出，在输入输出设备有一个控制字寄存器(CW 寄存器)，控制存储端口的分配情况。

三个端口上都带有地址码，并且加上了端口的名称。

例如：A 口　　地址码 00

　　B 口　　地址码 01

　　C 口　　地址码 02

同时，控制字寄存器也加上了与其他端口地址连续编号的地址码(地址码 03)。

X　微机与控制的组合

因微机处理的信号都是数字信号，所以不能接受或输出所需的模拟信号；内部的处理也都用数字信号来进行，所以也不能用模拟信号控制。因此，应当用接口等装置将模拟信号转换为数字信号来处理。而要用到模拟信号时，则同样要将数字信号转换为模拟信号来进行工作。

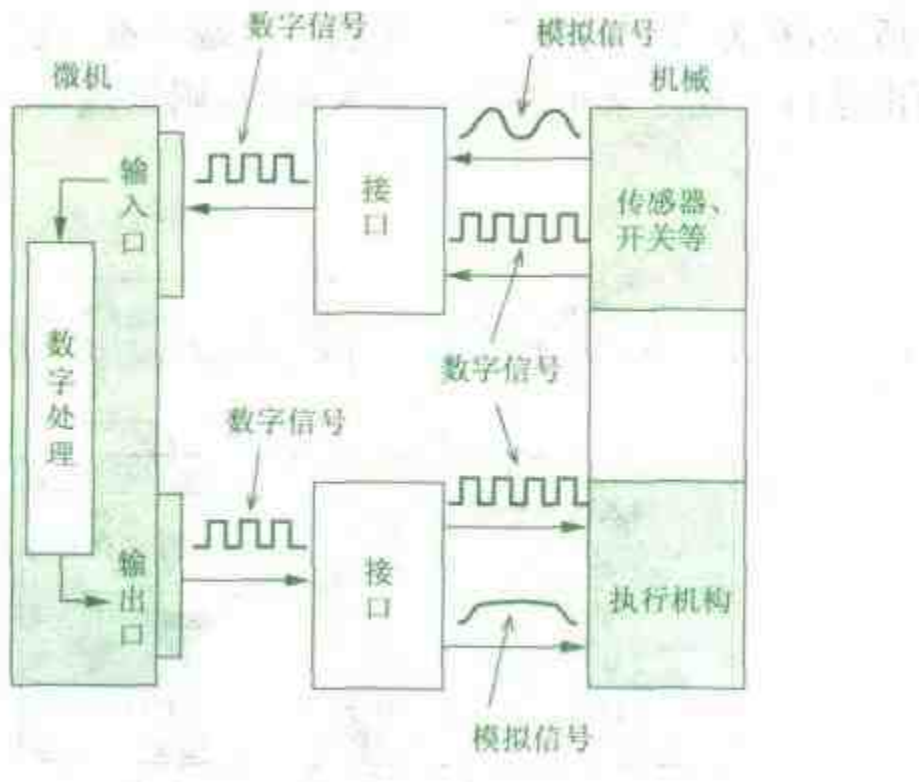


图 8　微机与机械的控制

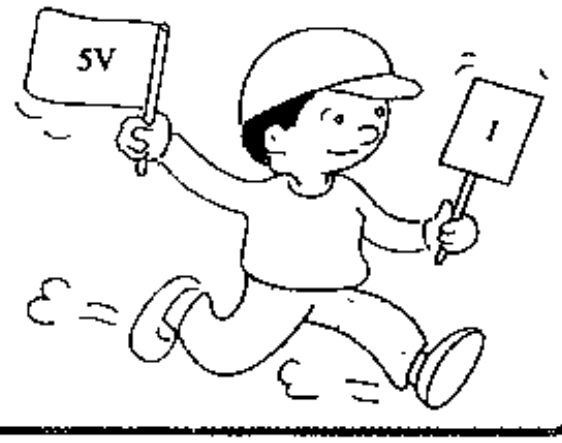
练习题

1. 微机有哪些主要的构成部分？
2. 微机处理的信号是数字信号还是模拟信号？
3. 存储器是什么？

解答

1. 有中央处理器(控制器、算术逻辑单元)、输入输出设备、存储器。
2. 数字信号。
3. 存储程序或数据用的存储单元。

9 微机与信号流



I 微机的信号

微机使用数字信号，一个数字信号只能有“0”与“1”两种状态。

若同时使用四个数字信号，则这些“1”与“0”状态可以组合出十六种数字信号。

一个数字信号称为 1 位，四个数字信号则称为 4 位，这是微机用于处理数据的最小单位。8 位微机能同时处理八种信号来完成工作。

II 数字信号与十六进制数的关系

实际在微机内流动的信号是由 8 根导线(参见图 1)，以 5V 与 0V 的电压信号作为电气信号来流动的(8 位微机)。

数字信号以 5V 作为“1”、0V 作为“0”来表示(参见图 2)。然而，在编写程序时，只用“1”与“0”非常不便，所以在使用四个数字信号时，用 0～9 与 A～F 这 16 种符号，可以用来表示十六进制数的数据(参见表 1)。

从表 1 可以看出，用“2 的位次幂”，就可将数字信号换算为十六进制数：

第 3 位为“1”时　$2^3=8$

第 2 位为“1”时　$2^2=4$

第 1 位为“1”时　$2^1=2$

第 0 位为“1”时　$2^0=1$

当四位中有多个位为“1”时，其数值为所有为“1”的位之十六进制数的总和。

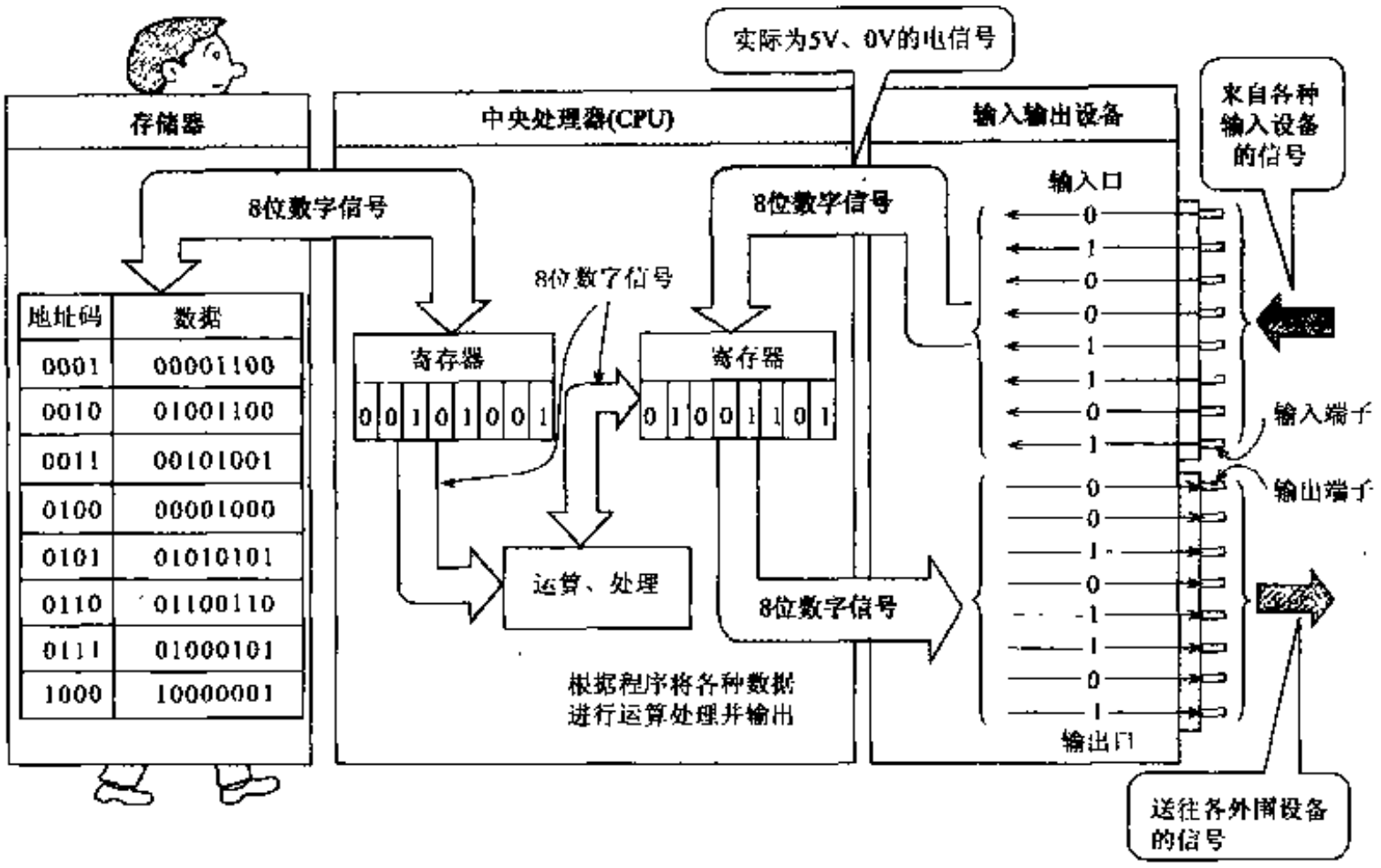


图 1　信号的流向(以 8 位微机为例)

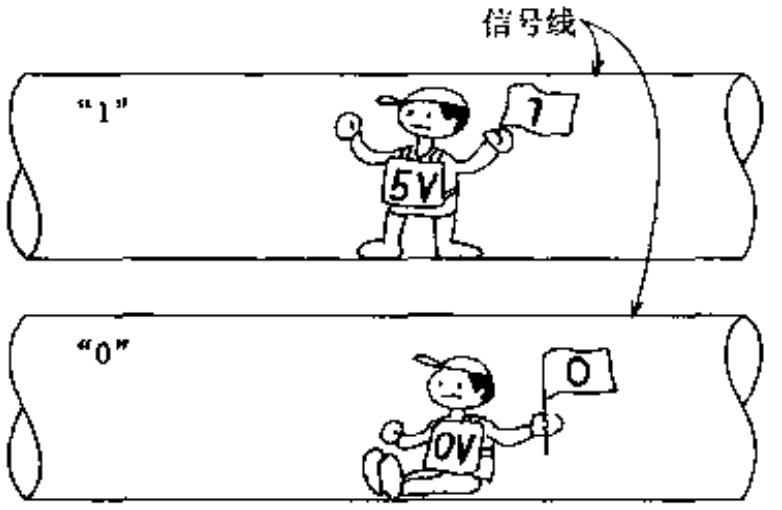


图 2　信号线内的电气信号流

表 1　二进制数与十六进制数(只有 1 位的十六进制数)

第 3 位	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	8
第 2 位	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	4
第 1 位	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	2
第 0 位	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
十六进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	

注：位号就是附加在信号线上的编号

位	3	2	1	0	十六进制数
数字信号	1	0	0	1	9H

第 3 位为"1" $2^3=8$

+) 第 0 位为"1" $2^0=1$

$(9)_{16}$

注：为了与十进制数相区别，十六进制数附加($)_{16}$

Ⅲ 微机的输入信号

用 8 位微机进行机械控制时，在输入口的端子上，连接着传感器等输入设备(参见图 3)。

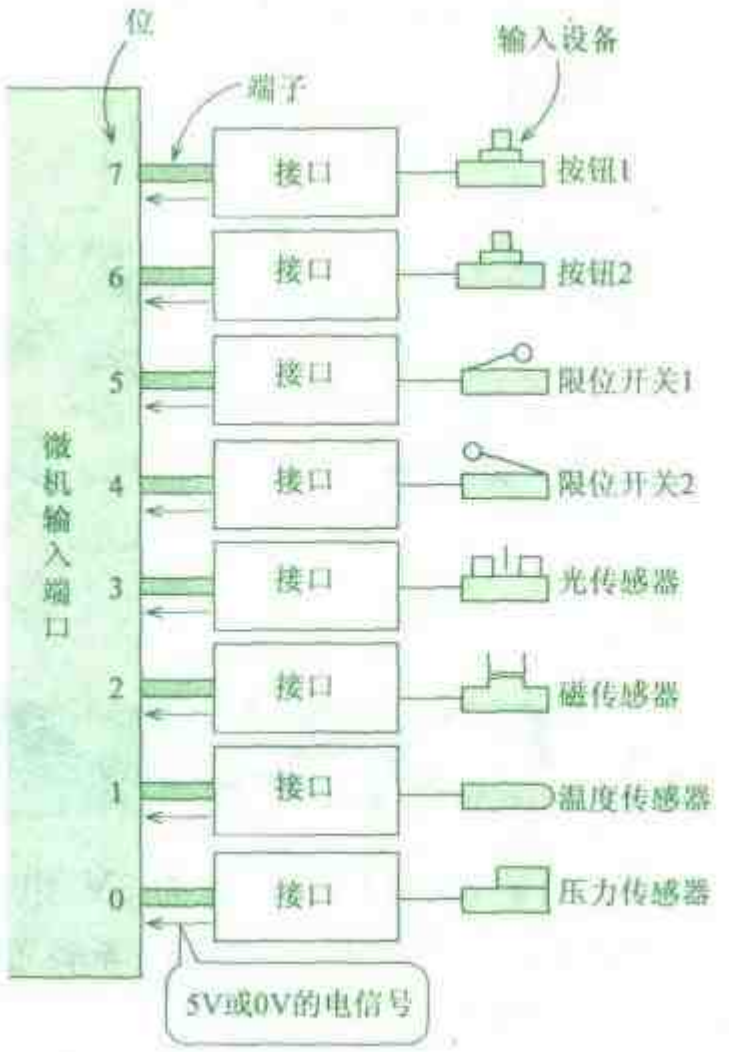


图 3 输入口和输入设备的连接

输入口判断数字信号以 5V 电信号作为"1"、0V 电信号作为"0"，所以要将易于判断的电信号直接通过接口输入微机。

图 3 中的输入设备若按下述规定来动作，则应输入图 4 所示的输入信号。

① 按第 7 位端子上的按钮 1；

② 压住第 5 位端子上的限位开关 1；

③ 使第 0 位端子上的压力(传感器)开关动作。

用二进制来表示为$(10100001)_2$，若写成十六进制数即为$(A1)_{16}$。

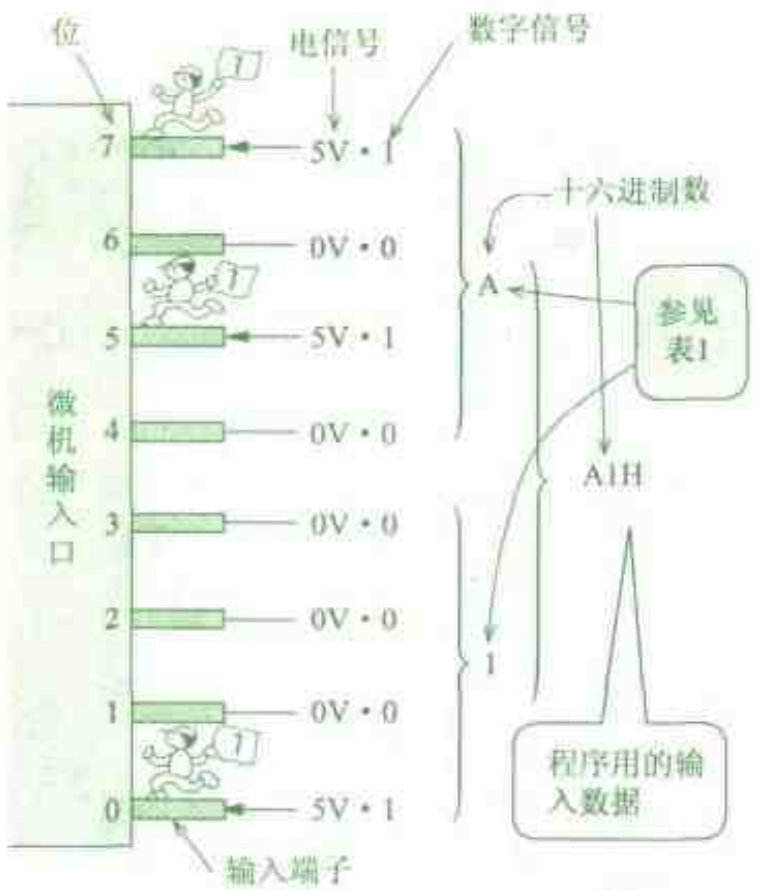


图 4　输入信号与十六进制数

Ⅳ　微机的输出信号

从微机输出的信号属于微弱信号(例如电压为 5V，电流为数毫安以下)，不能直接驱动执行机构等外围设备，需要通过“接口”等装置，将微机的输出信号转换成能使外围设备工作的电信号。

图 5 表示接在输出口上的外围设备，是由微机的输出信号来控制的。输出数据的流向如下：

① 由中央处理器将输出数据送到指定的输出口；

② 当输出口的输出数据为“1”时，就从输出端子输出 5V 的电信号；

③ 接收到 5V 电信号的输出接口，使各自的外围设备工作。

以上是用于 8 位微机的情况，当使用 16 位微机时，每一个口上有十六个端

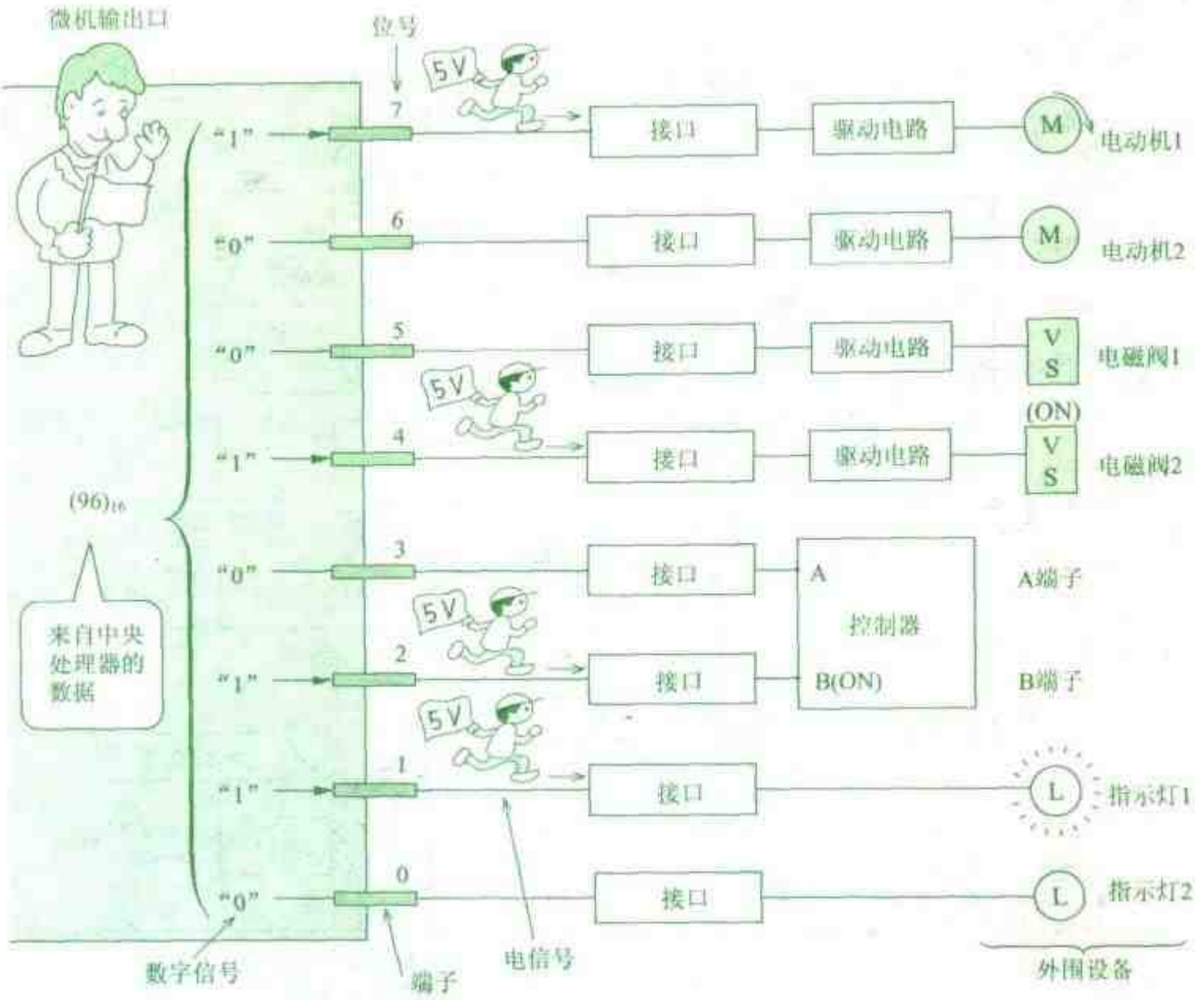


图 5 输出口与外围设备连接的例子

子来连接外围设备，即可同时控制十六台外围设备。此时的输出就成为 4 位十六进制数，同样，输入也应是 4 位十六进制数。

V 输入信号与输出信号的流动

尽管在微机内部流动的是电信号(5V、0V)，但从编制程序的角度来看，则可以认为流动的是十六进制的数据(参见图 6)。

虽然最后程序是以十六进制的电信号输入微机的，但若只用十六进制数来编制程序就太麻烦，所以都用一种称为“汇编”的语言来编制程序。

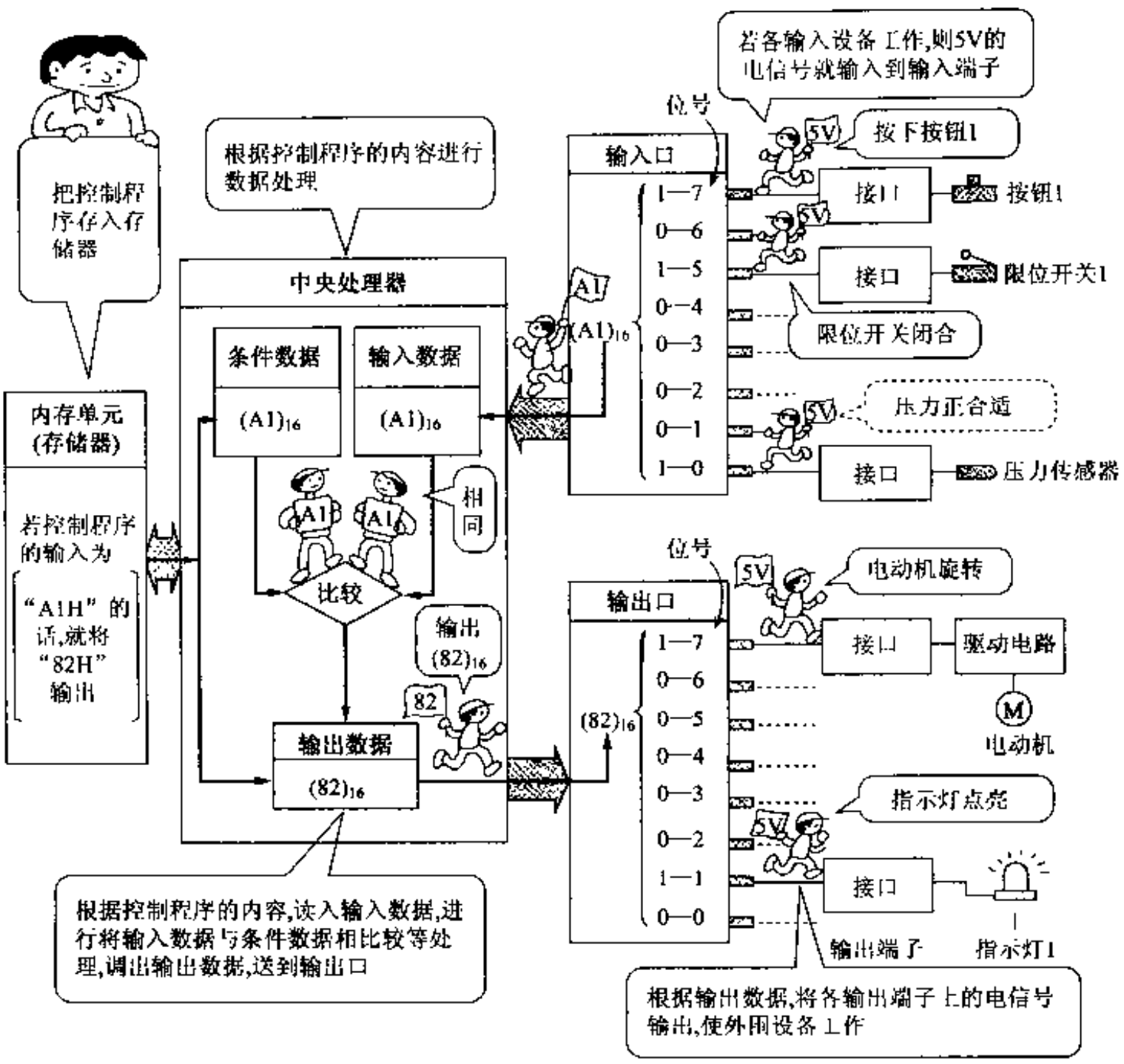


图 6　从程序角度来看微机信号的数据流

练习题

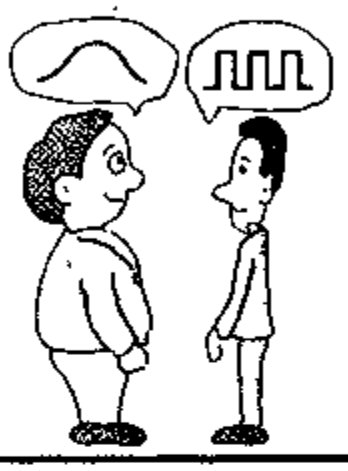
1. 将下表中的 4 位二进制数改写为十六进制数。

位	4 位二进制数					
3	1	0	0	1	1	1
2	0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	1	1
0	1	1	0	1	0	1
十六进制数						

解答

从左向右依次为 9，5，6，B，E，F。

10 接口的作用



1 接口这个名词的意义

接口(interface)是英语单词 inter 与 face 的复合词，有“中间面”、“界面”与“结合面”的意思(参见图 1)。

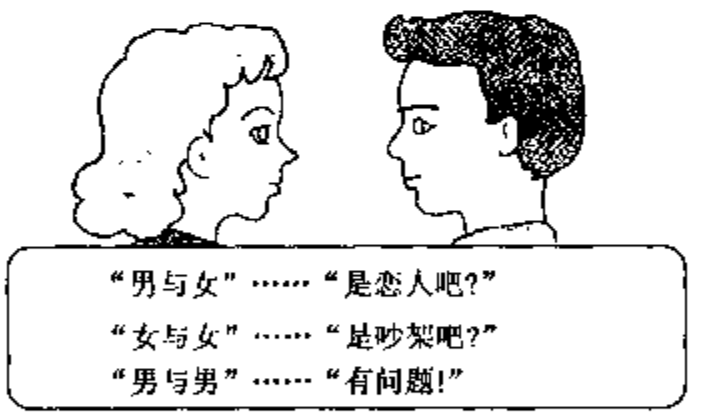


图 1 人与人的接口

欧姆社出版的《微机手册》对接口下的定义是“接口是为了能使多个装置之间有机地结合，满足装置之间所需要的电气上、机械上与理论上的边界条件的设备”(参见图 2)。

由上述使我们对接口有了初步了解，下面研究接口的实际内容。

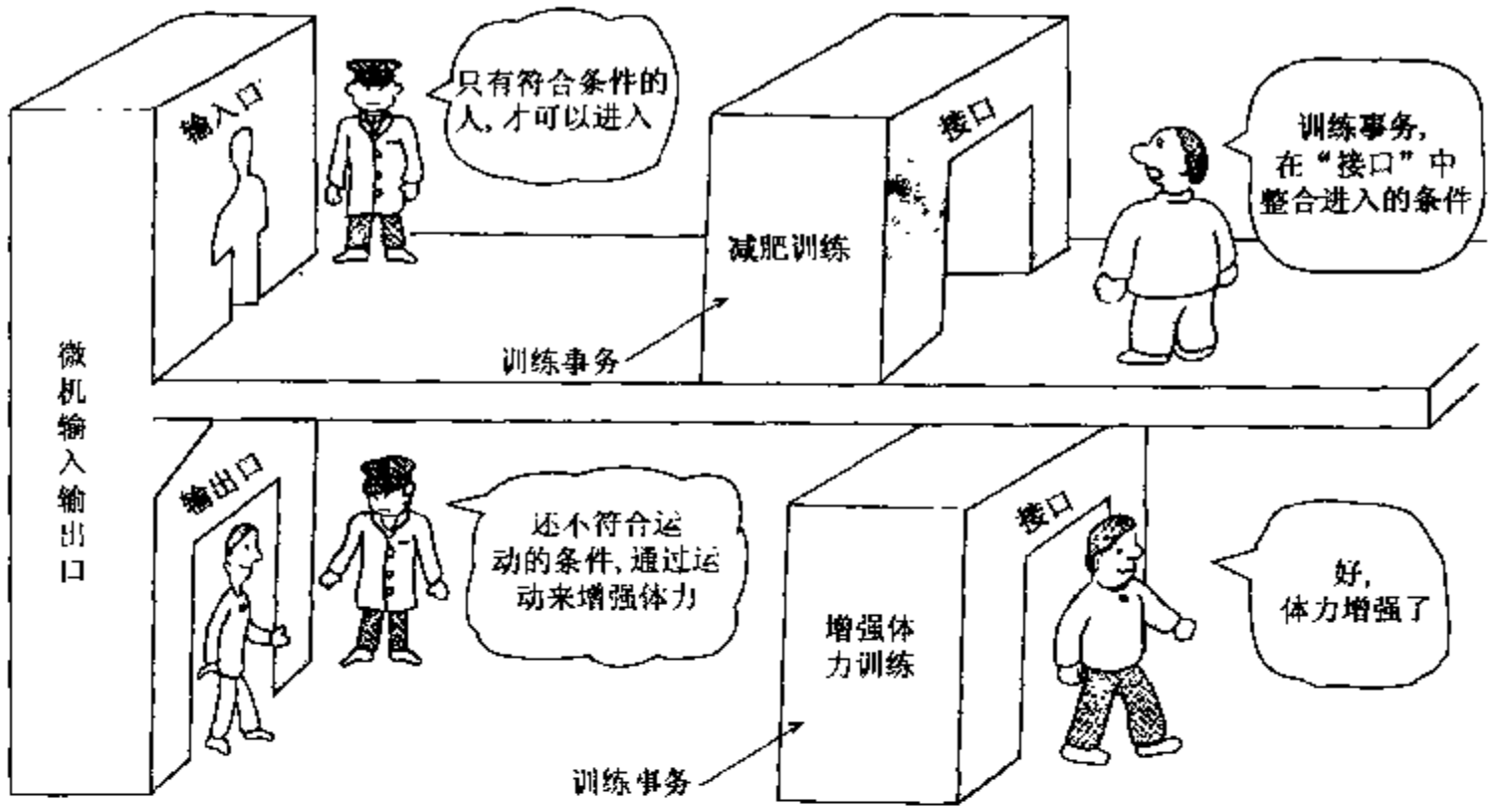


图 2　接口的作用

Ⅱ　微机与接口

接口与微机的关系是非常密切的。从微机输出的数字信号电压是 5V，电流很微弱，要直接用它来使执行机构等外围设备工作是不可能的；同时，微机只能接受电压为 5V、电流很微弱的数字信号作为输入信号。接口的任务就是把微机的输出信号转换为能使外围设备工作的电信号；把来自传感器等输入设备的信号，转换为微机能接受的输入信号，起到桥梁的作用。

Ⅲ　微机的输入输出条件

先探讨一下微机将数据输入输出时，应当具备哪些条件。

微机将数据输入输出的地方是输入输出接口，输入输出接口均已制成大规模集成电路(LSI)，尽管品种很多，但最常用是“8255”并行接口片，我们就以此为例进行探讨。

作为主要条件的是图 3 所示的数字信号。但是数字信号“1”未必是电源电压。

输入信号与输出信号的许用值是不同的，需要分别予以讨论。作为 8255 芯片的电源电压，其推荐值为 5V。

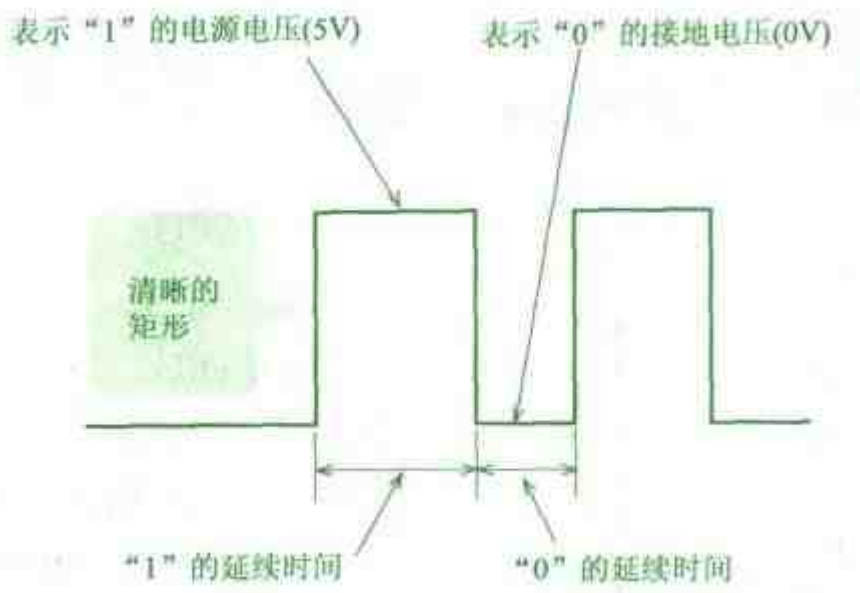


图 3 数字信号

Ⅳ 输入信号的条件

“1”信号：电压 2.0～5.0V
　　电流 ±10μA
“0”信号：电压 0.5～0.8V
　　电流 ±10μA
}(图 4)

(μA：微安，10^{-6} A)

必须注意，尽管对“1”信号时的电压许用值范围有一定的限制，但对“0”信号时的电压许用值范围则没有太大的限制，对于电流则几乎不用考虑，只要加上电压就行了(参见图 4)。

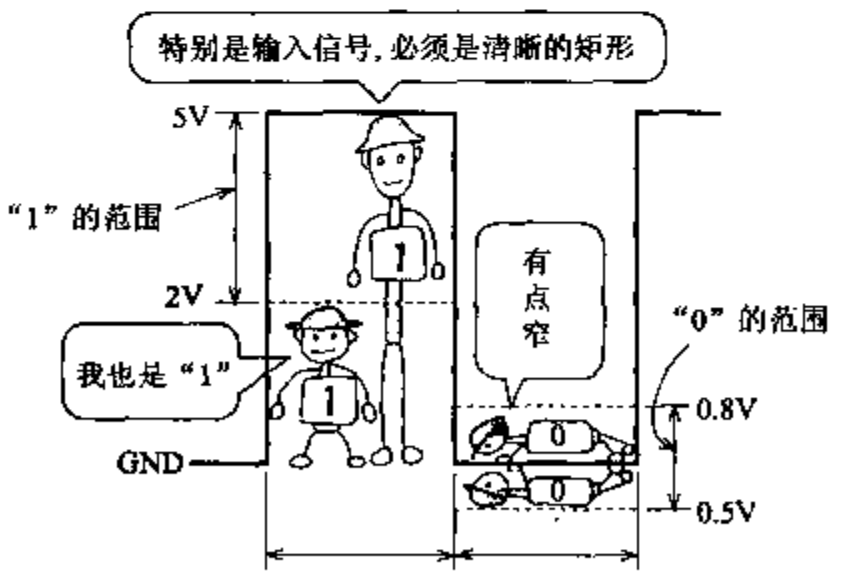


图 4 输入信号的条件

Ⅴ　输出信号的条件

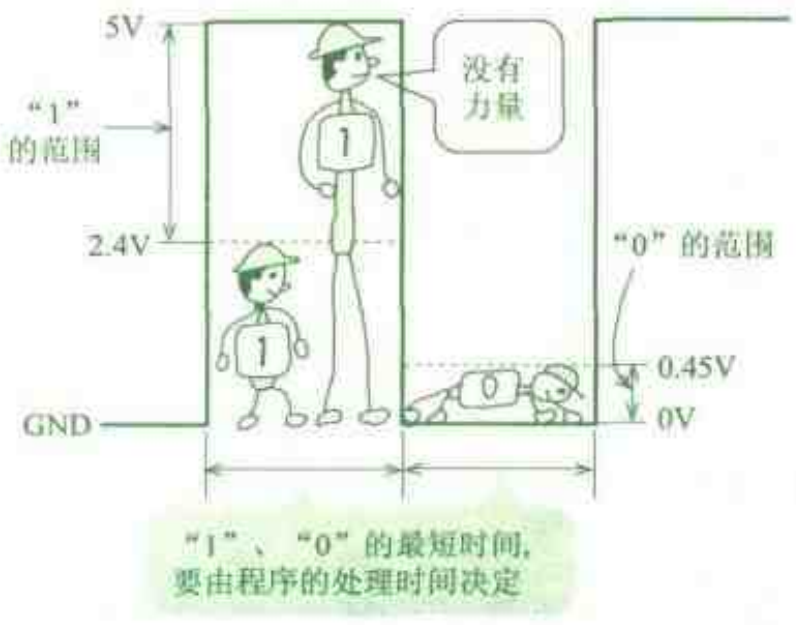


图 5　输出信号的条件

"1"信号：电压　2.4～5.0V
　　电流　－200μA
"0"信号：电压　0～0.45V
　　电流　1.7mA
（图 5）

（电流以流向 LSI 为正向）

输出信号的电压与电流都很小，不能直接驱动外围设备。应当注意，与"1"信号时的电流相比，"0"信号时的电流要大一些（参见图 5）。

Ⅵ　输入信号用接口的工作

为了满足来自外部输入信号的要求，根据输入信号的不同，输入接口主要工作如图 6 所示。

Ⅶ　模/数转换

来自传感器的信号大多是模拟信号，必须将它转换为数字信号，即模/数转换，又称为 A/D 转换。

Ⅷ　波形的整形

由于受到外部噪声等的影响，不能得到标准波形的数字信号，所以必须将输入信号加工为标准数字信号，这一工作称为波形的整形。

此外，波形整形还包括将信号的电压调整为"1"、"0"的许用范围之内的工作、滤除噪声的工作等，以满足微机的输入条件。

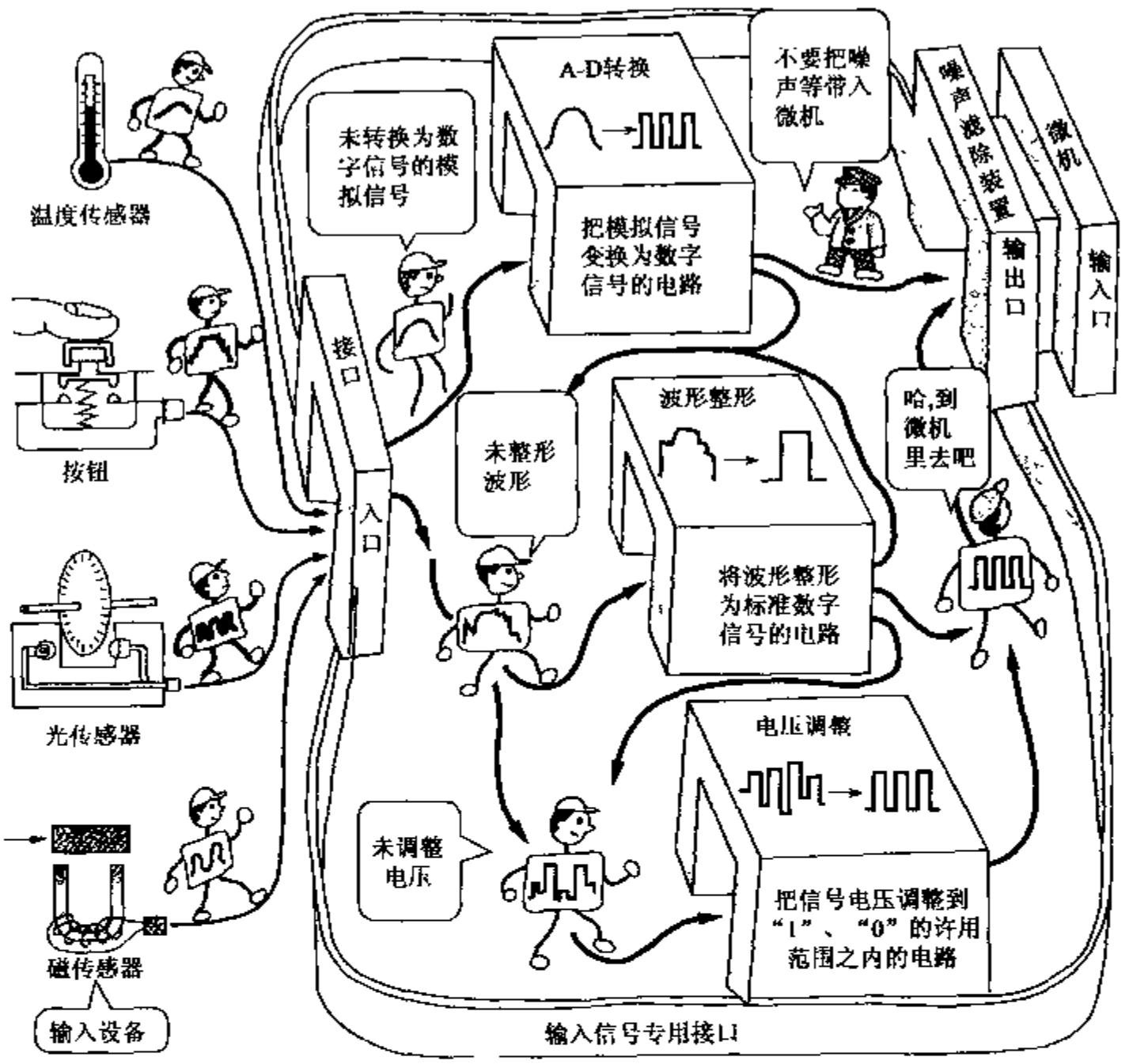


图 6 输入信号用接口的主要工作

Ⅸ 输出信号用接口的工作

如前所述，微机的输出信号是非常微弱的电信号，要用这些输出信号来驱动电动机或电磁阀必须将这些信号转变为外围设备所需强度与波形的电量。将输出信号转换为符合外围设备需要的电信号的控制器，就是输出信号用的接口。

输出信号用接口的主要工作(参见图 7)有：

① 将数字信号转换为模拟信号；

② 产生驱动外围设备所需的电量；

③ 防止输向微机的噪声等逆流；

④ 其他。

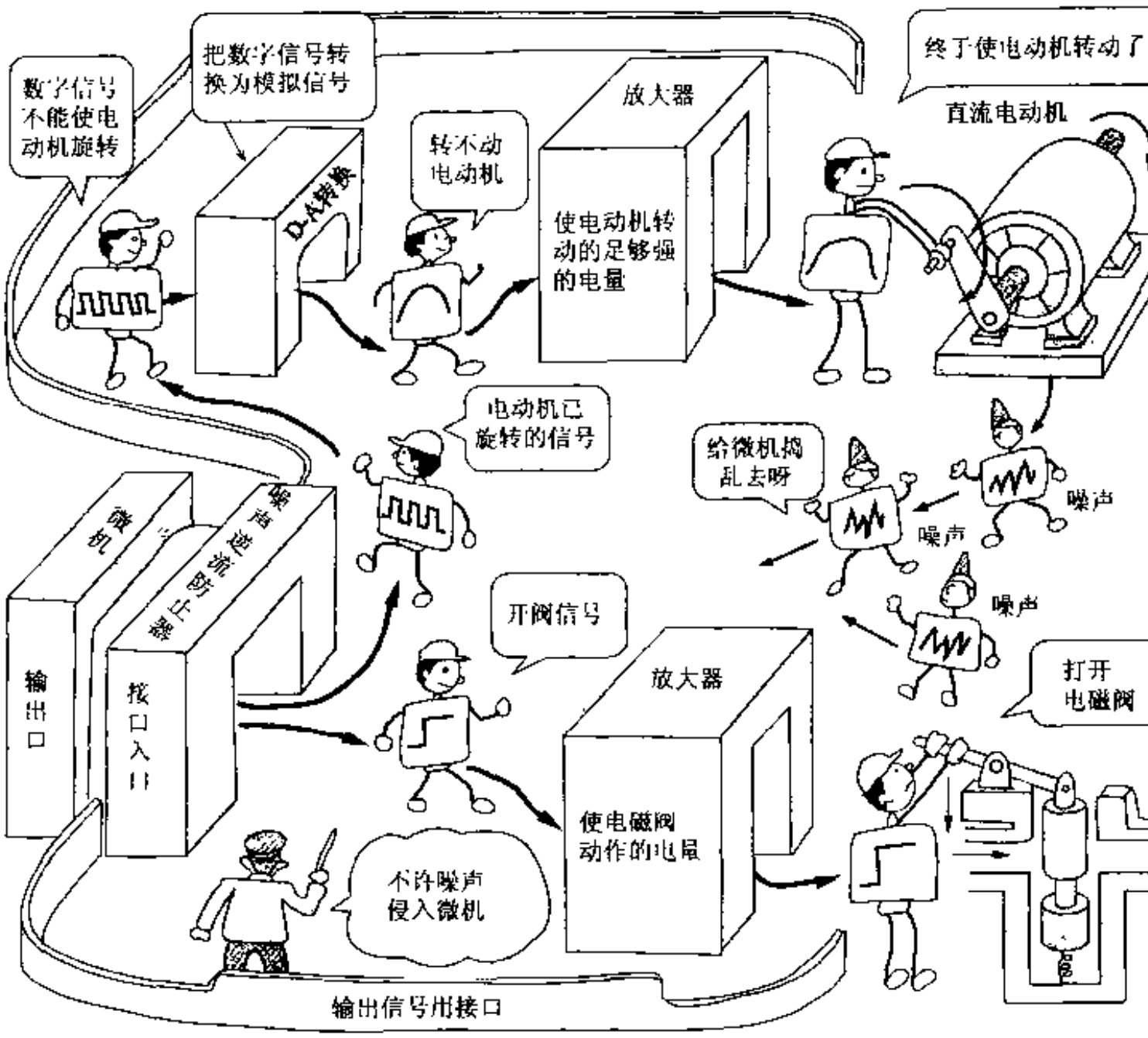


图 7 输出信号用接口的主要工作

练习题

1. 来自微机的输出信号能驱动外围设备吗?
2. 微机的接口有哪些主要工作?

解答

1. 因信号是微弱电量,不能驱动外围设备。
2. (1) 将模拟信号转换为数字信号或将数字信号转换为模拟信号;
   (2) 电压与电流的放大;
   (3) 滤除噪声的措施。

11 输入用外部接口的作用



Ⅰ 温度传感器需要的外部接口

热敏电阻温度传感器的外部接口，是用来将温度数据输入微机的接口。先介绍一下输入用外部接口的作用(参见图 1)。

Ⅱ 热敏电阻的特性

① 热敏电阻是陶瓷热敏元件，可用于测量－50～350℃的温度；

② 当温度上升时，热敏电阻的阻值呈指数函数减少；

③ 热敏电阻本体是电阻，电流流过就要发热，会影响测量精度，为此应尽量降低热敏电阻的输入电压，以尽可能地减少其发热；

④ 因温度变化引起的电阻值变化呈指数函数关系，所以与其温度高的部分相比，其温度低的部分电阻值的变化率要大一些，利用这一温度低的部分来测量可提高测量的精度(参见图 2)。

Ⅲ 检测电路

由于热敏电阻“随温度变化引起的电阻值变化是指数函数”，随着温度变化的电量变化也不是线性的，不便于计算机的处理，所以要对随着温度变化的电量进行线性化处理。

处理的方法如图3所示，用一个电阻与热敏电阻串联，可使随着温度变化引起的电压变化线性化。

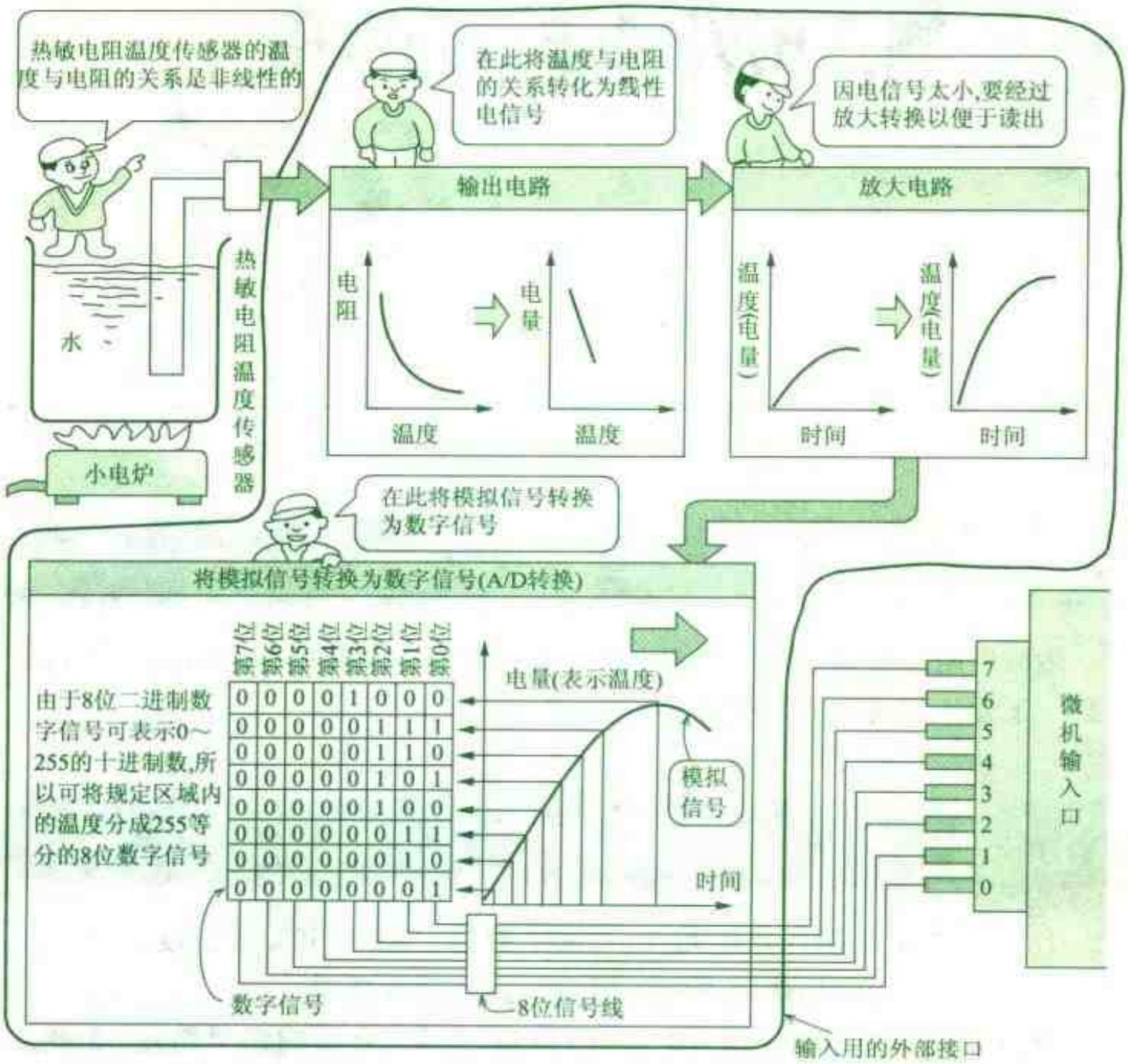


图1 热敏电阻温度传感器的原理图

接成图4所示的桥式电路，当温度相对于基准值变化时，就可检测出电量(电压)的变化。

Ⅳ 放大电路

为了将热敏电阻的发热量限制在最小的程度，需要降低输入电压；同时，为了能检测到在最低温度时的电压差，就要使检测电路输出信号的输出电压非常地小。所以需要将该电压放大为易于处理的模拟信号，用通常称为“运算放大

器”的集成电路(IC),或晶体三极管放大器来放大模拟信号(参见图 5,图 6)。

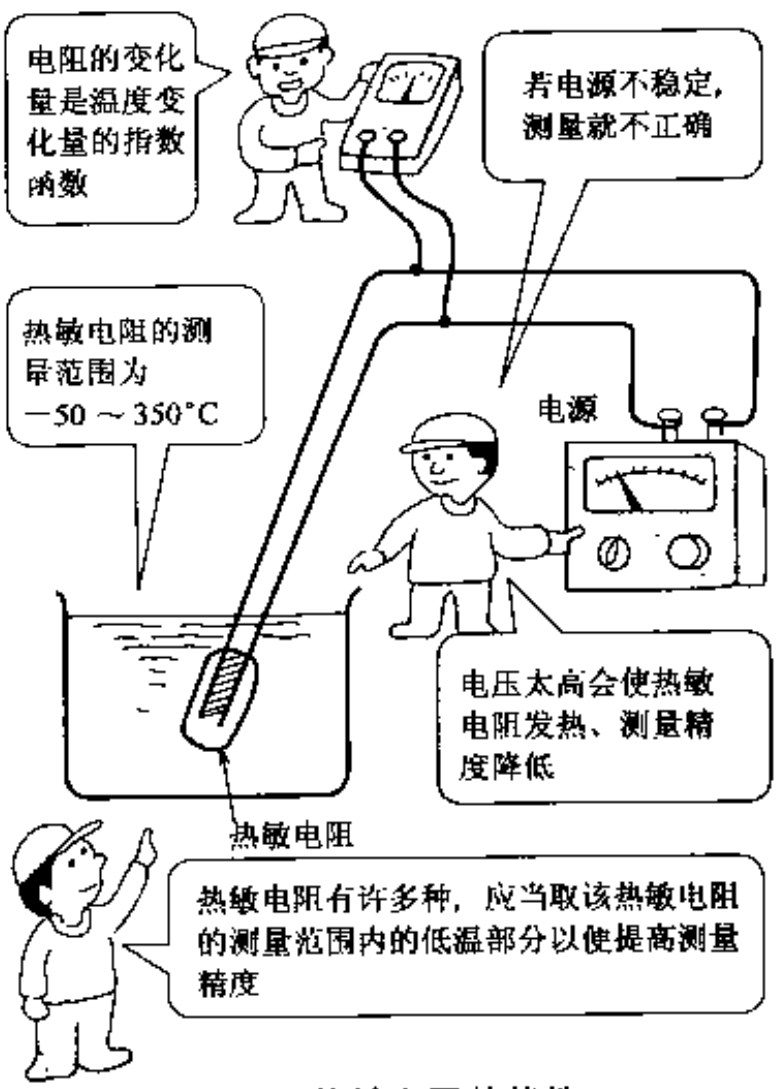


图 2　热敏电阻的特性

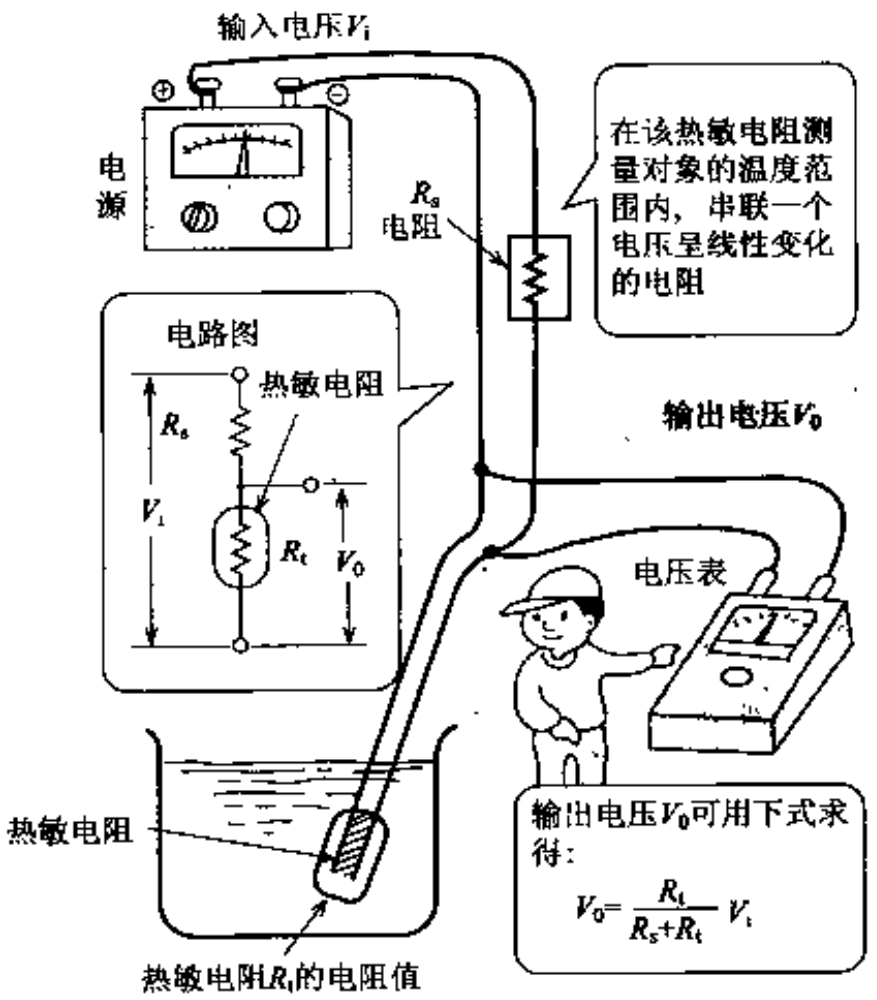


图 3　串联连接的线性修正原理图

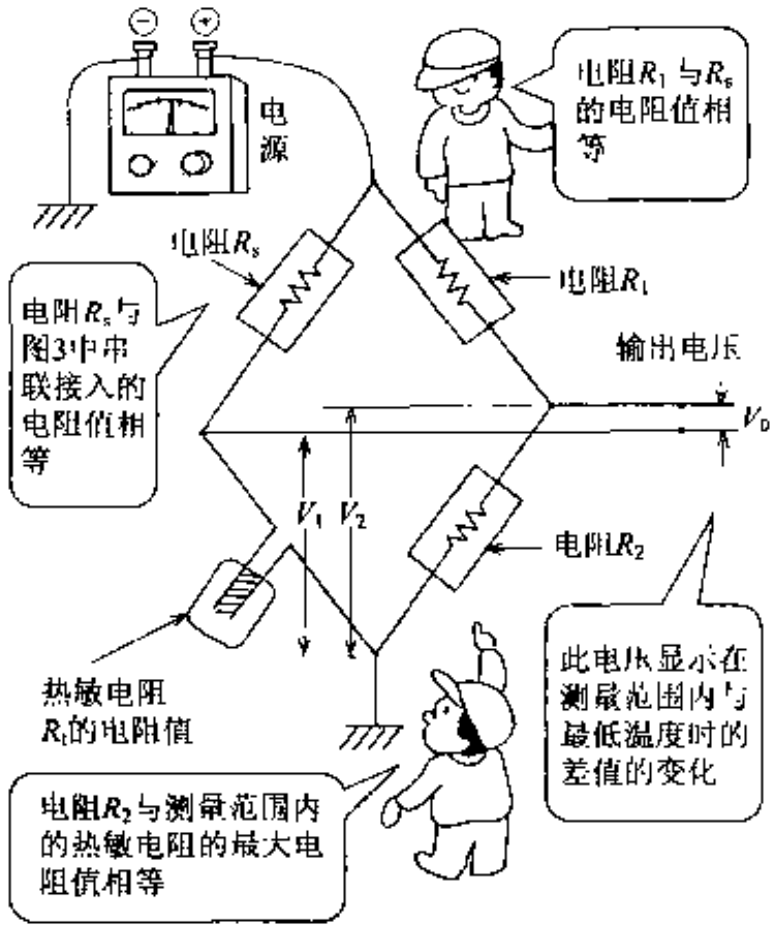


图 4　按桥式电路连接的检测电路

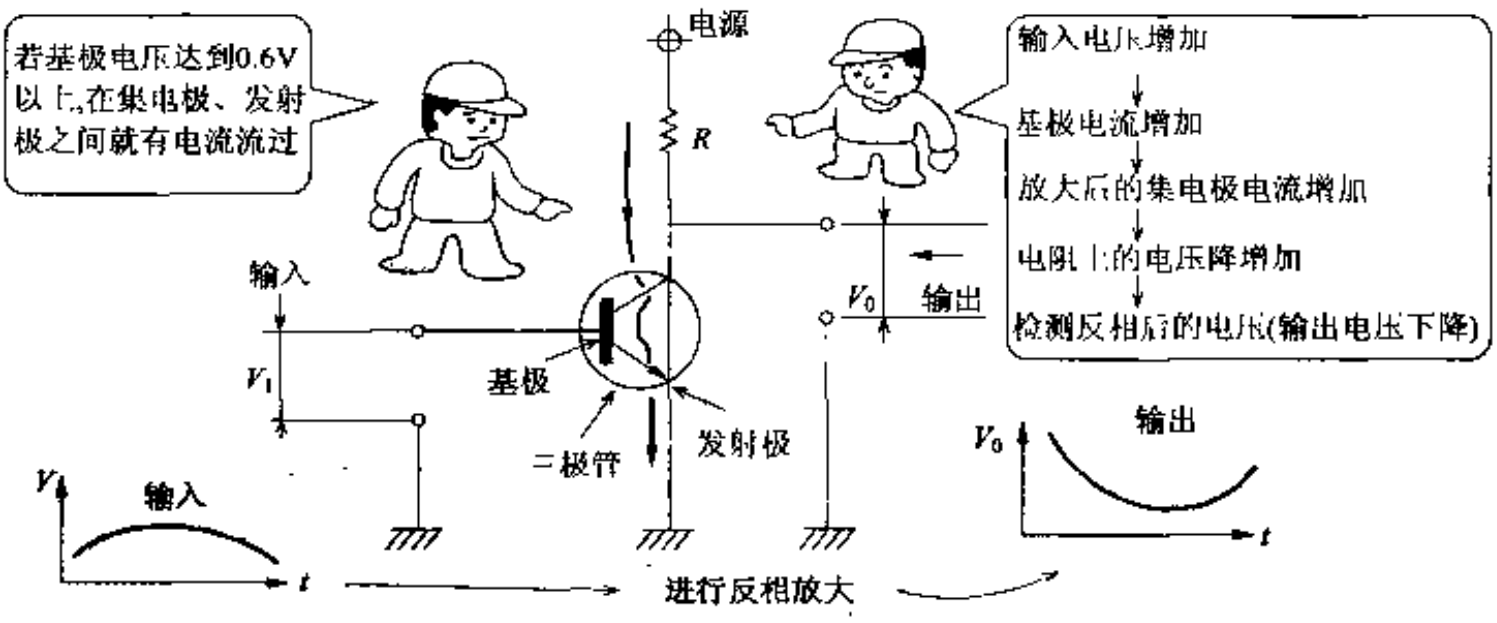


图 5　用三极管进行电压放大的基本电路

在图 6 的基础上，制成小型化的集成电路产品，即**运算放大器**(参见图 7)。

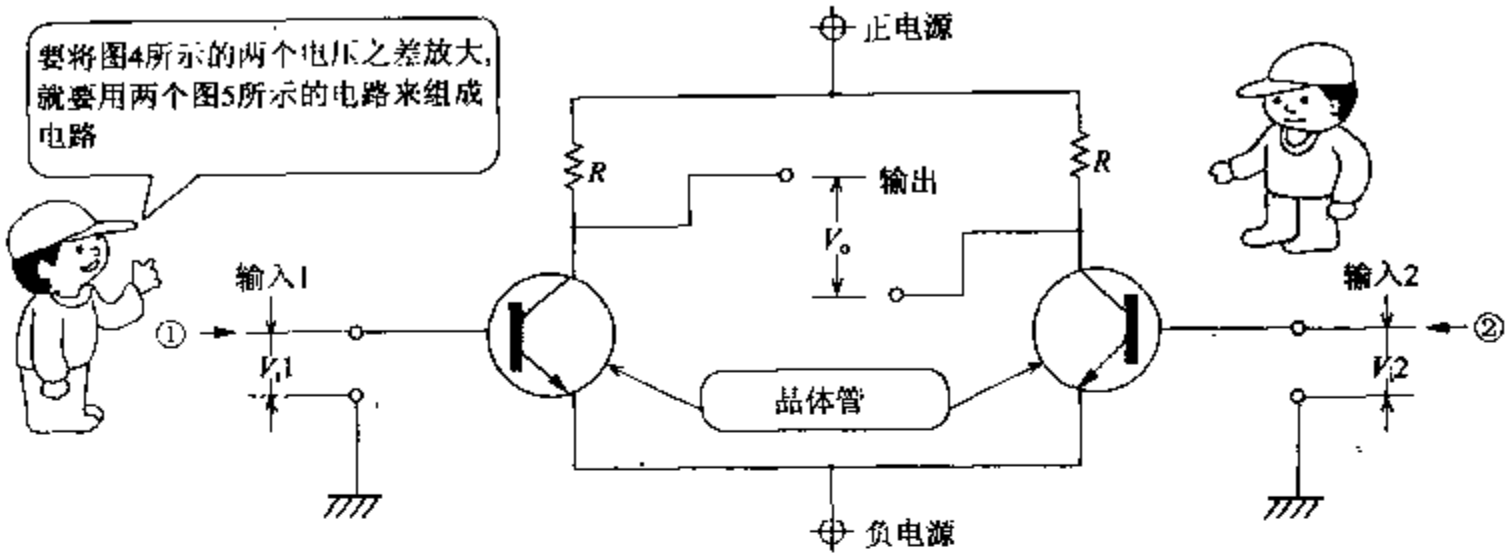
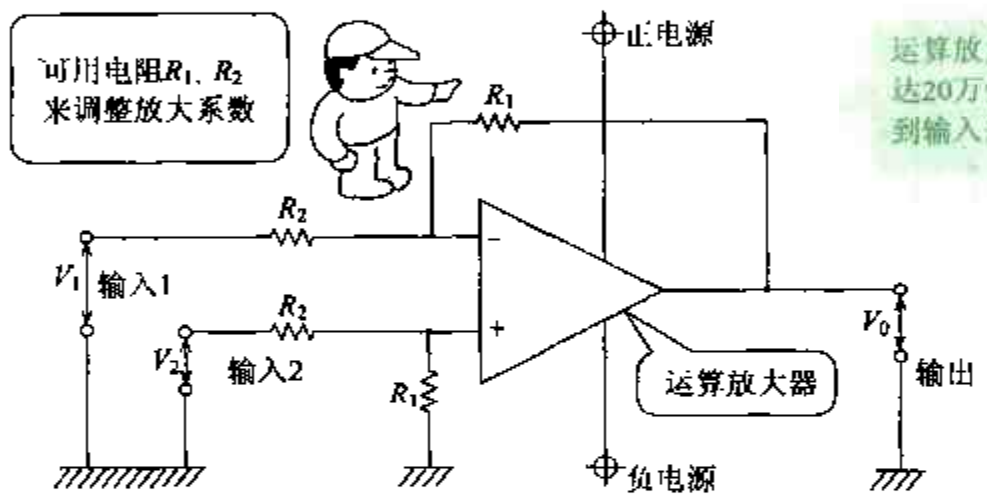


图 6　用三极管进行两个电压之差放大的基本电路



运算放大器本身的放大系数非常大，可达20万倍，因此要将输出的一部分返回到输入来降低放大倍数

输出电压V_0为两个输入电压之差(V_2-V_1)乘以两电阻之比(R_1/R_2)所得的值：

$$V_0=\frac{R_1}{R_2}(V_2-V_1)$$

图 7　用运算放大器放大的原理

V　模/数转换电路

检测电路或放大器电路的输出主要是模拟信号，而模拟信号本身是不能直接输入微机的，因此必须将它转换为数字信号。将模拟信号转换为数字信号的电路称为**模/数转换电路(A/D 转换电路)**。

模/数转换电路的工作原理如下：

① 将测量范围划分至所需的最小单位。例如要测量的范围是 0～60℃，若要得到测量精度为 0.5℃的测量数据，则必须将测量范围分成 120 等分，60/120＝0.5(℃)。实际上要划分的是检测、放大后的电量范围；

② 用十六进制数来分配划分后的最小单位、进行信号的数字化。

下面通过具体例子来做进一步说明。通常用于微机输入的 A/D 转换方法，是转换速度较快的“逐次比较型 A/D 转换法”。比如用图 8 所示不同温度下的数字信号，作为与测量瞬间温度相当的数字信号。

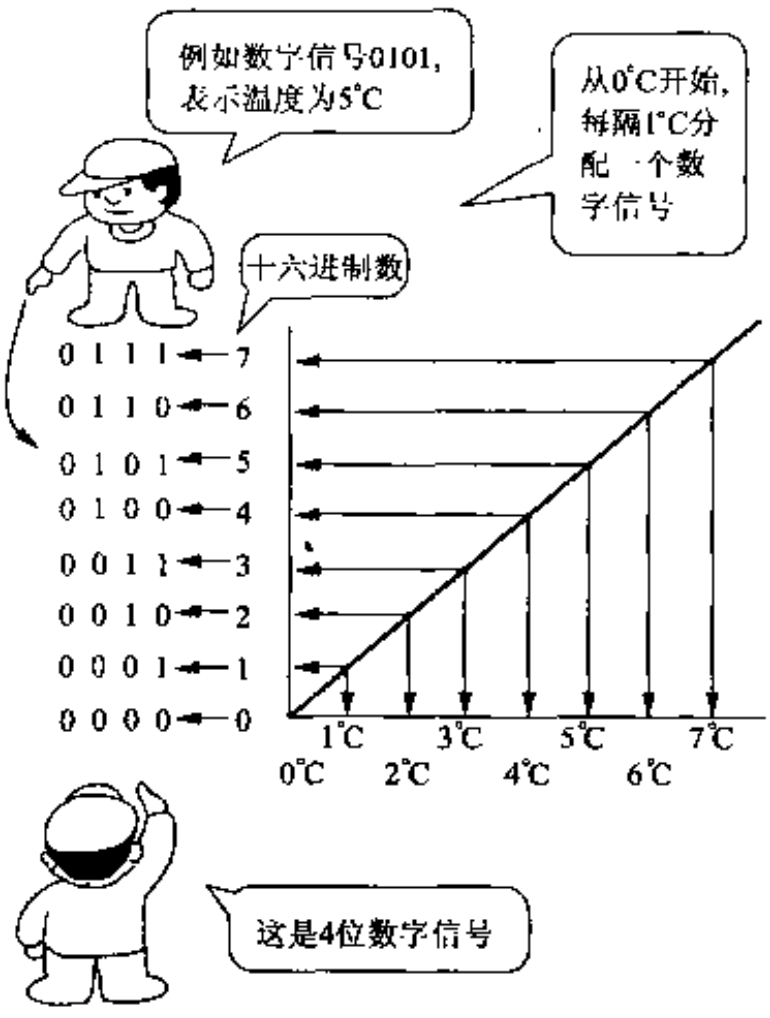


图 8　A/D 转换原理

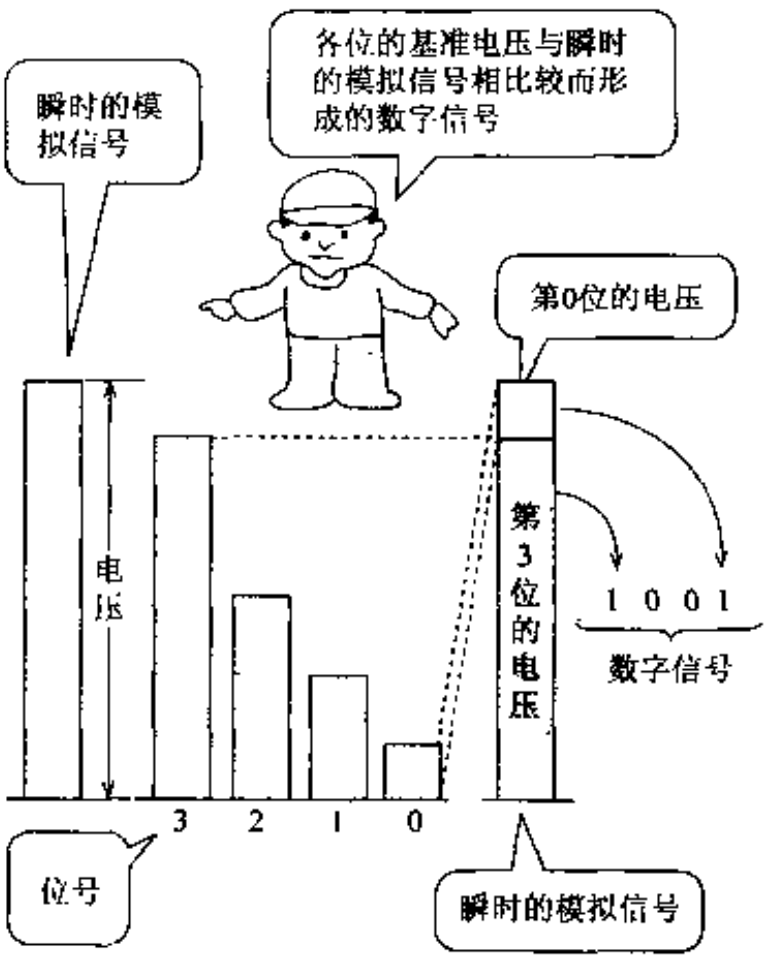


图 9　逐次比较型 A/D 转换的原理

如图 9 所示，所测量温度的电量（如电压等）是与各位上数字信号（事先准备好的）基准值进行比较而转换为数字信号的。

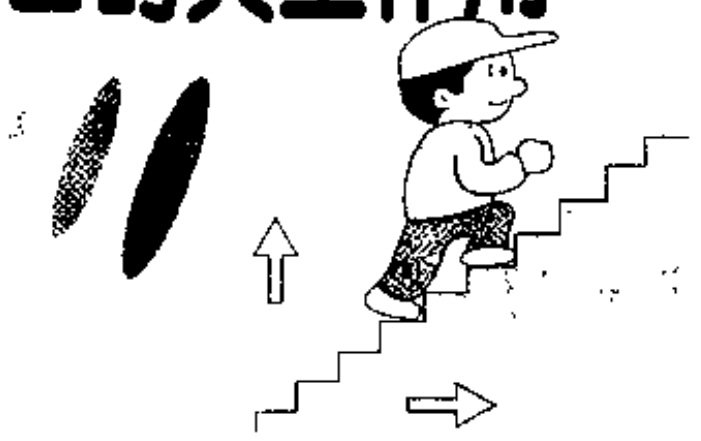
练习题

1. 检测电路起什么作用？
2. 放大电路起什么作用？
3. 模/数转换电路起什么作用？

解答

1. 把测量到的检测量（温度、压力等）转换为线性电量。
2. 放大信号，使转换后的电量易于处理。
3. 为了向微机输入信号，将模拟信号转换为数字信号。

12 输出用外部接口的典型作用



1 用于直流电动机控制的接口

用于直流电动机控制的输出用外部接口的作用由图 1 示出。

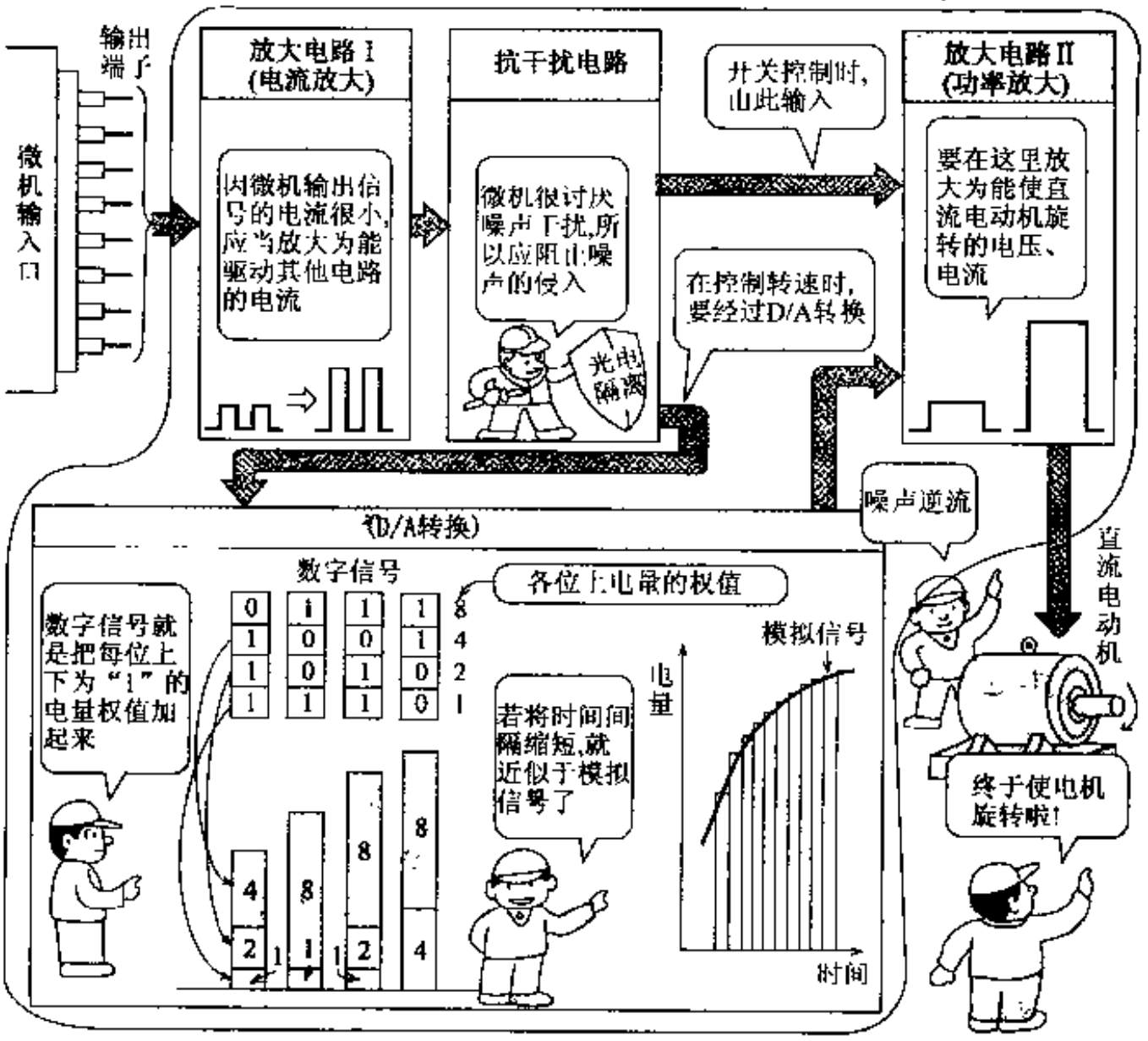


图 1　用于直流电动机控制的外部接口原理图

前面已介绍过放大电路的原理，下面介绍模/数转换的原理。

模/数转换的原理

改变电压是直流电动机的转速控制方法之一。在用微机控制转速时，必须把微机输出的数字信号电压转换成模拟信号电压。

微机输出的数字信号，有 8 位或 16 位等多种，现以将 4 位数字信号转换为模拟信号为例，说明将这类信号转换为模拟信号的工作原理(参见图 2)。

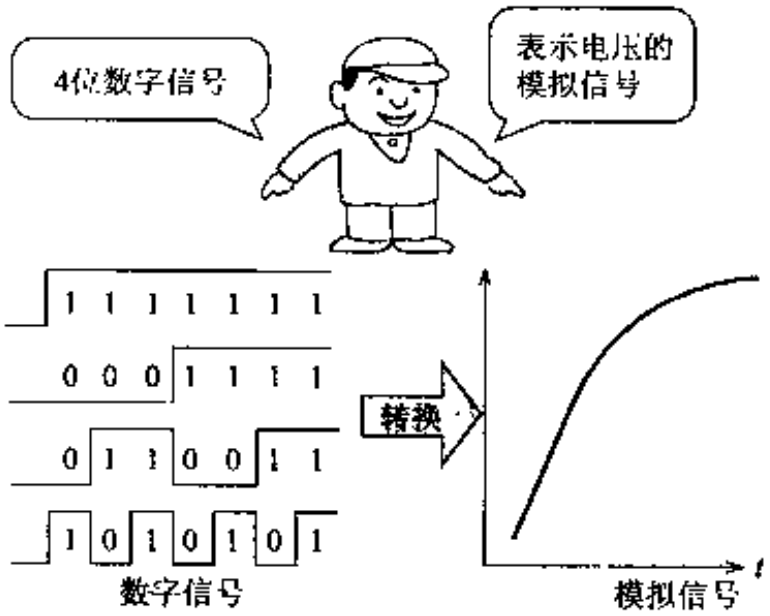


图 2　数字信号与模拟信号

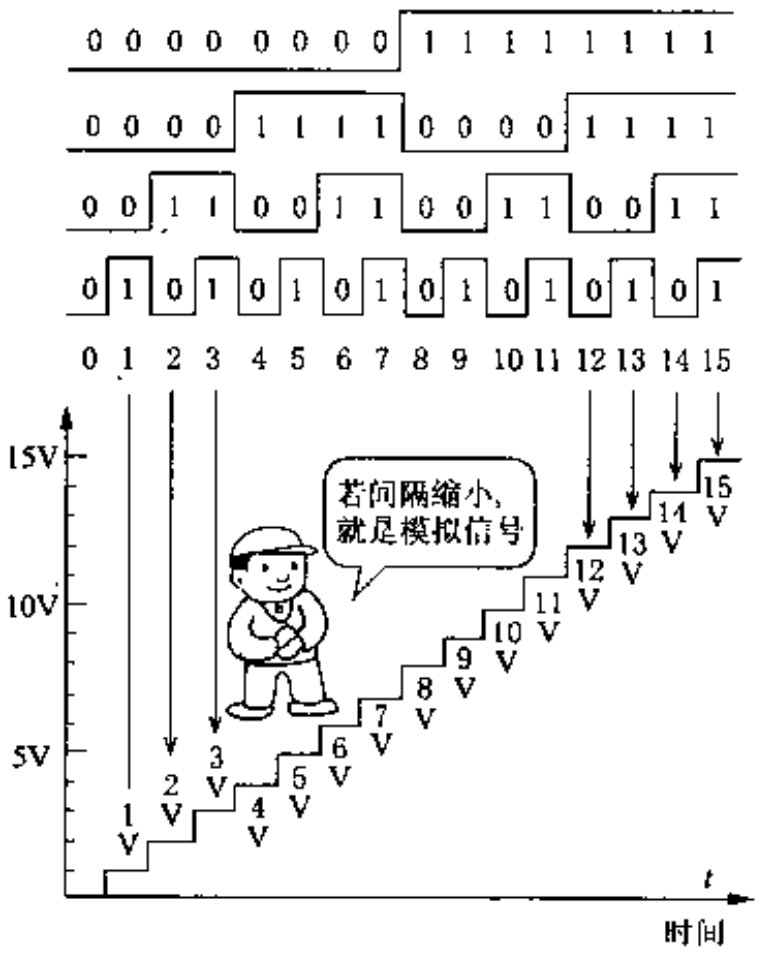


图 3　电压与数字信号

用 4 位数字信号的“0”、“1”组合，可表示 0～15 的数值，若将这一数值作为电压，则可用这些数字信号表示 0～15V。若把它绘制成图 3 所示的曲线图，则为阶梯状的曲线。缩小电压间隔与时间间隔，就得到近似于模拟信号的曲线。

例如 8 位的数字信号，可表示 0～255 范围内的数值，若用 8 位数字表示 0～5V 之间的电压，则可表示的最小电压为 5/255＝0.0196(V)。并且，其时间间隔可用微机产生的输出信号间隔、以 μs(10^{-6}s)为单位来输出。

Ⅲ　数/模信号转换电路的原理

尽管数/模转换的基本电路有很多种，但最常用的还是如图 4 所示的将电阻连接成梯形的电路。

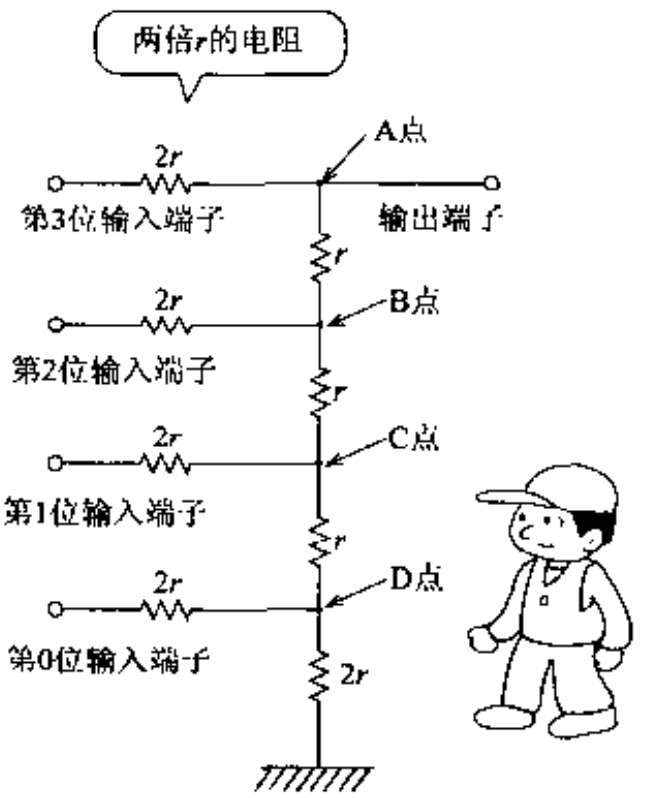


图 4　梯形电路的原理

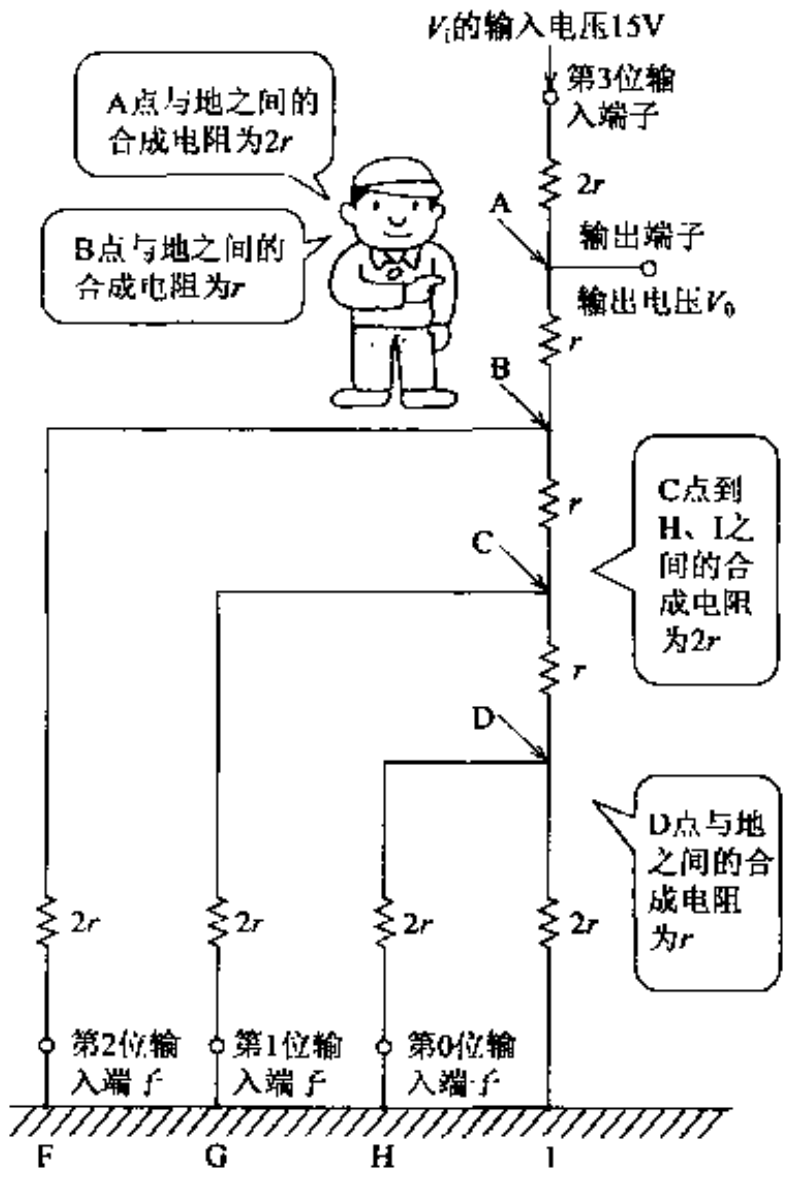


图 5　在第 3 位的输入端子上输入信号“1”

以将 4 位数字信号转换为模拟信号为例，探讨此梯形电路图的工作原理。

假设在第 3 位的输入端子上输入信号“1”，也就是加上了电压 $V_i(=V_{CC}-5V)$，设其他的输入端上的输入信号为“0”，即为 0V(接地)，则成为图 5 所示的电路。

① 计算 D 点对地之间的合成电阻。

因为是 $2r$ 的电阻并联，所以 D 点对地之间的合成电阻为

$$R_D=\frac{2r\cdot 2r}{2r+2r}=\frac{4r^2}{4r}=r$$

② C 点与 H、I 点之间的电阻

$$r+r=2r$$

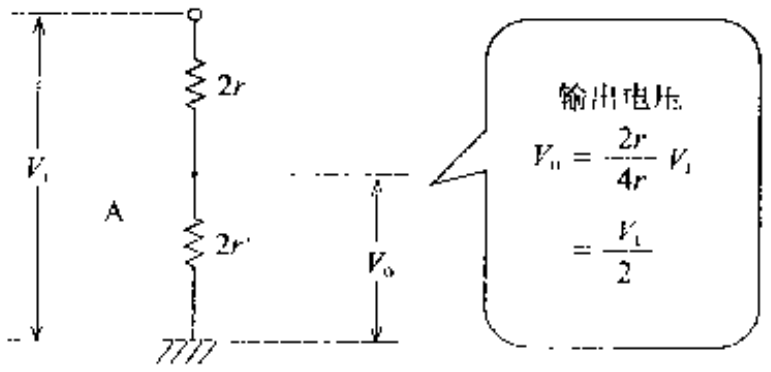


图 6　输出电压

C 点与地之间的电阻为 $R_C = r$

③ 依此类推，B 点对地之间的合成电阻也是 r。

④ 因输出电压 V_0 与 A 点的电压相同，所以要考察一下 A 点的电压(参见图 6)，A 点与地之间的合成电阻为 $2r$，并且第 3 位输入端子与地之间的合成电阻为 $2r+2r=4r$。因此，由图 6 可知 A 点的电压为

$$V_0 = \frac{2r}{4r} V_i = \frac{1}{2} V_i$$

若考虑在各位的输入端子上分别输入信号“1”时，则其输出信号为：(请读者自己画出电路图来验算)。

若在第 3 位的输入端子上输入信号“1”，

$V_0 = V_i/2$　　权值 →[8]

若在第 2 位的输入端子上输入信号“1”，

$V_0 = V_i/4$　　权值 →[4]

若在第 1 位的输入端子上输入信号“1”，

$V_0 = V_i/8$　　权值 →[2]

若在第 0 位的输入端子上输入信号“1”，

$V_0 = V_i/16$　　权值 →[1]

当有多个输入端子上输入信号为“1”时，其输出信号电压为上述各位上输入信号为“1”的输出信号的权值相加。

例 1　当第 0 位与第 1 位的输入端子上的输入信号为“1”时。

第 0 位的输入端子输入信号为“1”时的电压为 $V_0 = V_i/16$

第 1 位的输入端子输入信号为“1”时的电压为 $V_0 = V_i/8$

所以 $V_{out} = \frac{V_i}{16} + \frac{V_i}{8} = \frac{3}{16} V_i$

例 2　当第 0、1、2 位的输入端子上的输入信号为“1”时。

第 0 位与第 1 位的输入端子上的输入信号为“1”时的电压为 $\frac{3}{16} V_i$，第 2 位的输入端子上的输入信号为“1”时的电压为 $\frac{V_i}{4}$，所以

$$V_{out} = \frac{3}{16} V_i + \frac{V_i}{4} = \frac{7}{16} V_i$$

第2章

简单控制入门



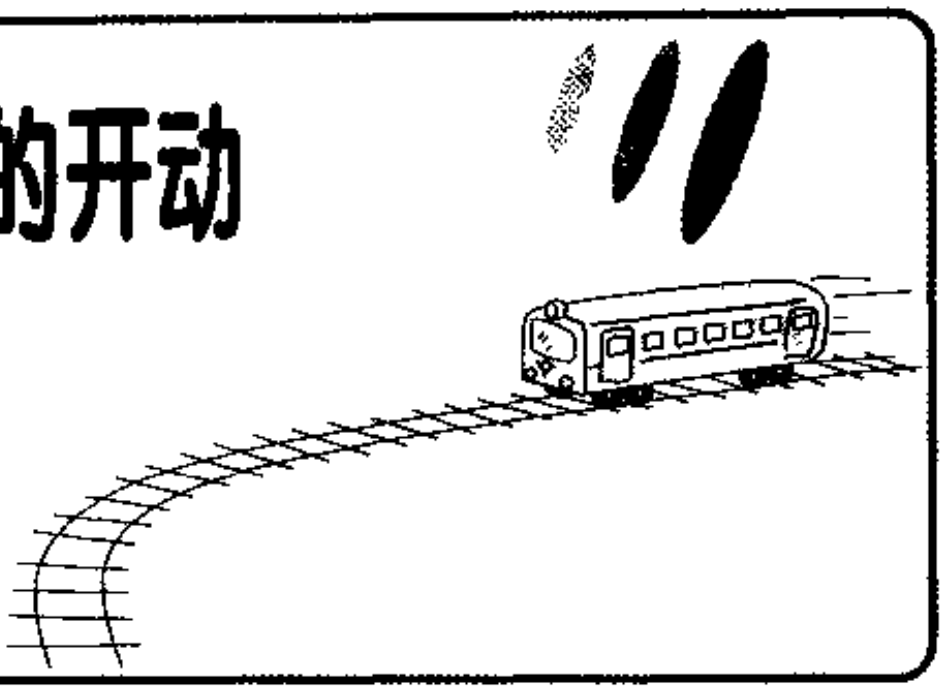
本章的学习内容

仅靠人的感官来操控高速行驶的列车和每隔几分钟就开出一辆公共电车是很难的,必须采用大型计算机来处理在高速行驶状态下的大量参数。现在，已将大型计算机用于交通控制与生产系统等各种大规模的控制系统之中；并将微机用于全自动照相机等各种家电产品的控制之中。随着科学技术的迅猛发展，可以预见计算机在控制领域中的应用正在广泛地、深入地扩展，计算机必将成为主要的控制手段，更广泛地应用于各种控制领域。

在这一章中，将通过铁路模型来介绍简单控制原理，并探讨一些与控制有关的实际问题。学习控制,必须与计算相结合,为了使初学者更加容易理解和掌握,将采取由浅入深、循序渐进的方法先从人工操作开始研究。

为了灵活地应用自动化中所用到的方法与控制的基础知识，首先花精力研究电气控制与电子电路。这样，既学会了计算机控制，又依次研究了控制中的实际问题就可以牢牢地掌握控制的全过程。

1 模型电车的开动



在开动模型电车时，来研究与控制有关的实际问题。

1 模型电车的开动

对模型电车的控制，先探讨电车是如何开动的。模型电车中装有模型电车专用的直流电动机。它是由容量很大的电池来带动的(参见图 1)。

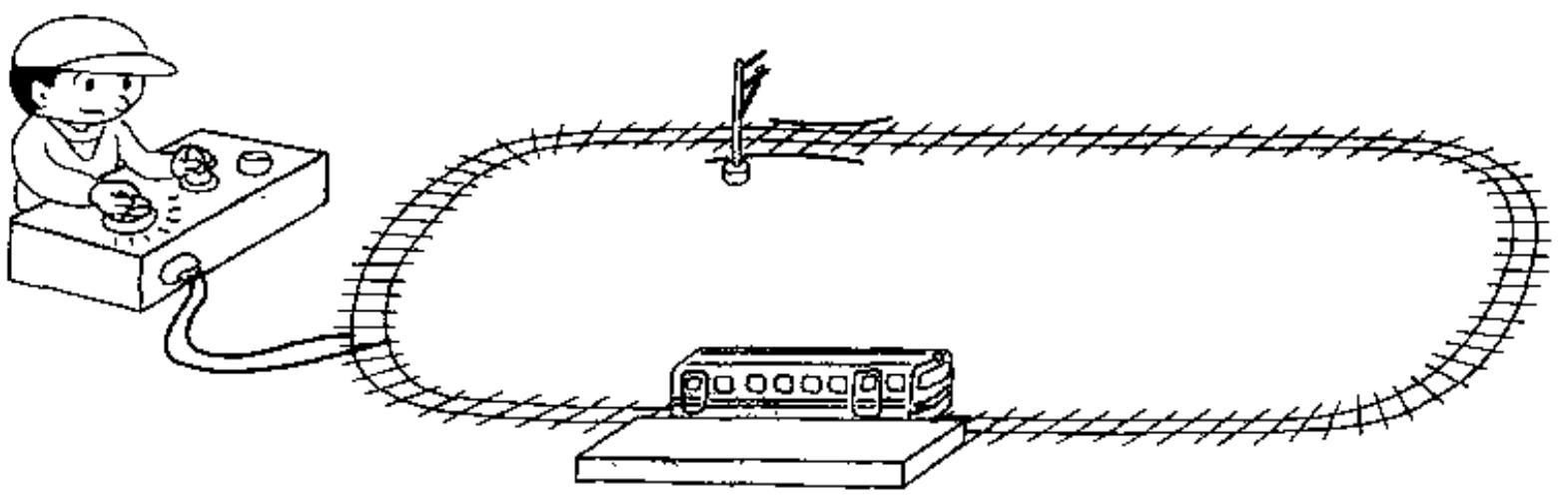


图 1　铁路模型

首先进行以下实验：

铁路模型电车，用 4 节 1.5V 的电池(单个型)和两根引线(两端带弹簧夹)。

① 如图 2 所示，先将 2 节电池串联(电压为 3V)，再将引线夹在电池的正、负极上，并用引线另一侧的夹头去碰模型电车两边的车轮处，车轮就会缓慢地旋转(确认旋转方向)。

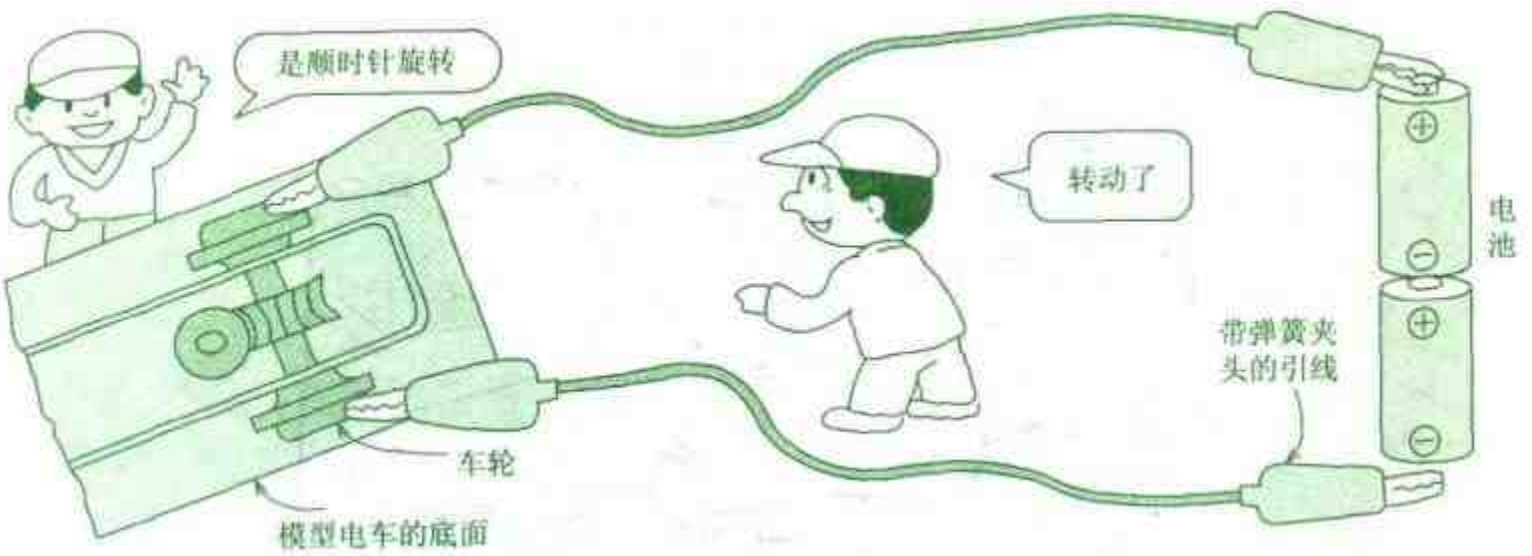


图 2　模型电车转动实验

② 如图 3 所示，将两侧车轮与引线的连接对调，这时，车轮的转向相反。结论是通过改变电流的方向，可以改变车轮的转向。

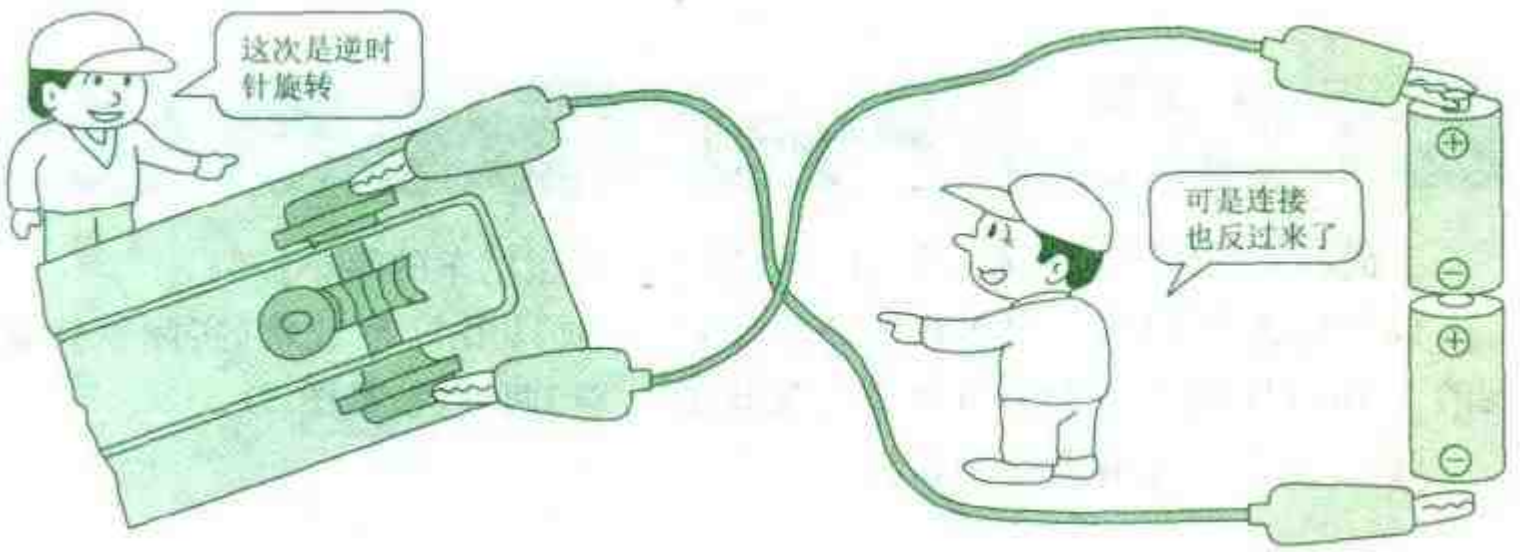


图 3　与图 2 相反的连接

③ 将 3 节电池串联(电压为 4.5V)，进行②中所述的实验。车轮的旋转速度就加快了。

④ 再用 4 节电池串联(电压为 6V)，进行②中所述的实验。车轮的旋转速度会更快。

结论是电压升高，则车轮的旋转速度加快。

简单控制模型电车的方法可由这两个实验的结论得知：

① 电车的“开动”与“停止”，可通过电车上“流过”或“不流过”电流来控制(参见图 1)；

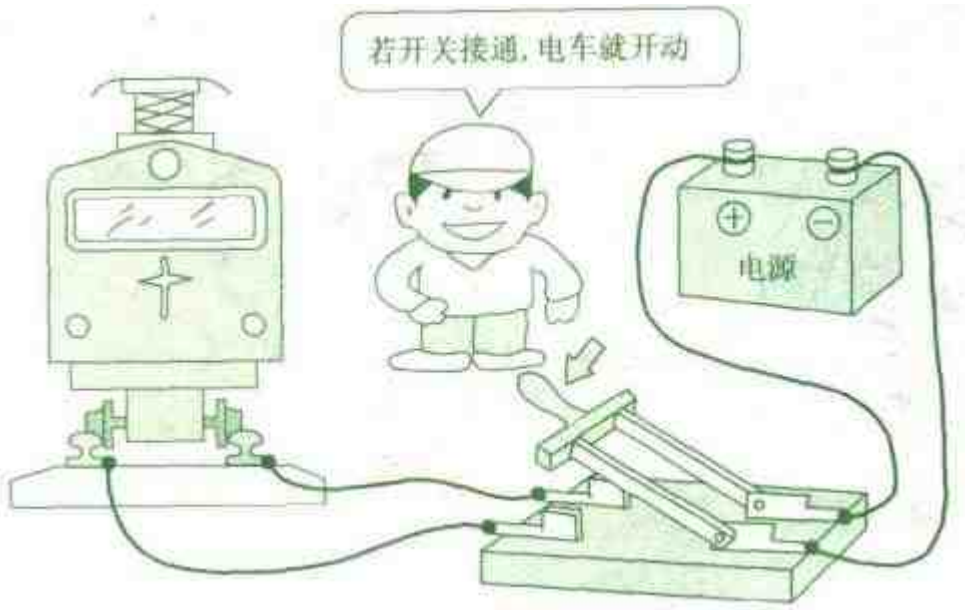


图 4　开动模型电车

② 电车的速度可通过增减电源的电压来控制；

③ 电车的方向可通过改变电流的方向来控制。

Ⅱ　轨道上模型电车的开动

下面就来介绍对运行在实际铺设轨道上的模型电车的简单控制。

根据宽度的不同，有很多种铁路模型，但一般只用 N 型铁轨（实际铁轨宽度的 1/160）与 HO 型铁轨（实际铁轨宽度的 1/87）两种（参见图 5）。

这里，采用较宽的 HO 型铁轨。

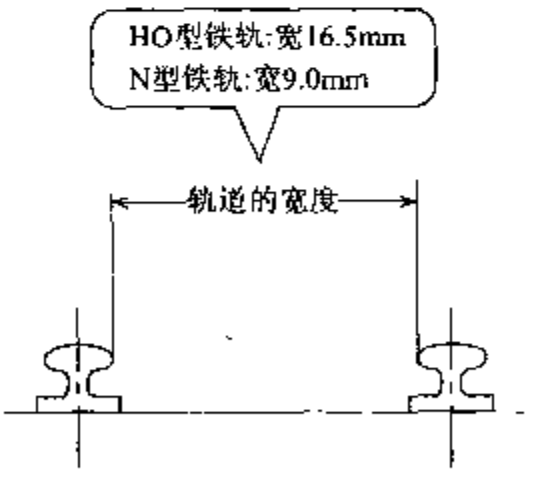


图 5　铁路模型的宽度

铁路模型内是不装电池的；由于架线困难，所以不采用“导电弓”设备来连接电源，而是采用在轨道线路上供电，通过车轮来接通电源。

如图 6 所示，线路铺成像椭圆形，没有设置绝缘部分，全部导通。电源直接连接在线路上。

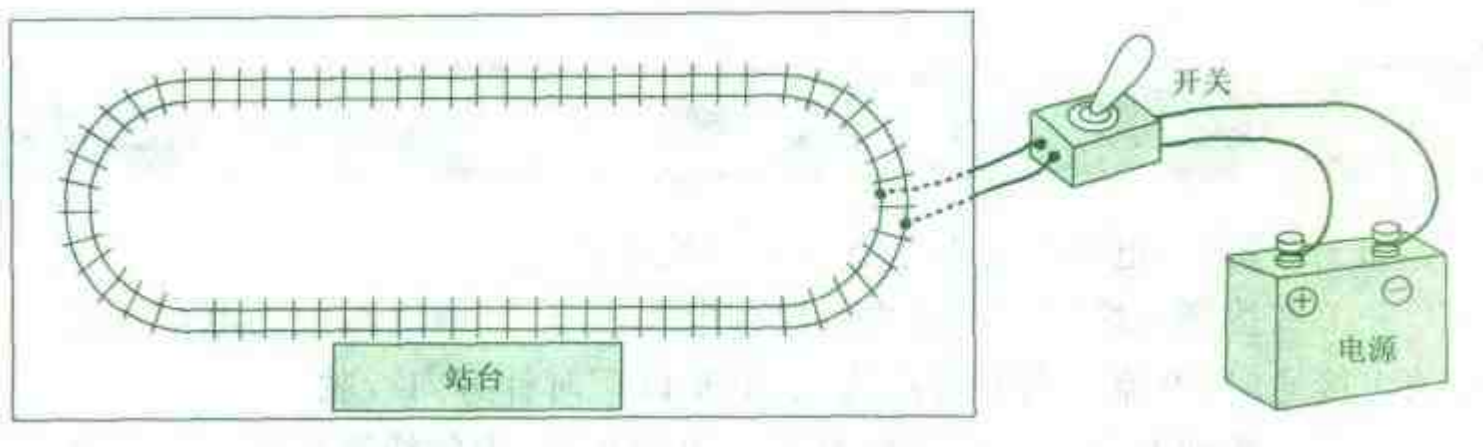


图 6　铁路模型的轨道线路

Ⅲ　电车的行驶与停止

如图 7 所示，铁路模型是通过电源开关来向轨道线路供电的。

① 接通开关，电流从电源经过开关的接点流向线路，电车通过车轮从轨道线路上获得电源，使电动机旋转，电车就开动起来；

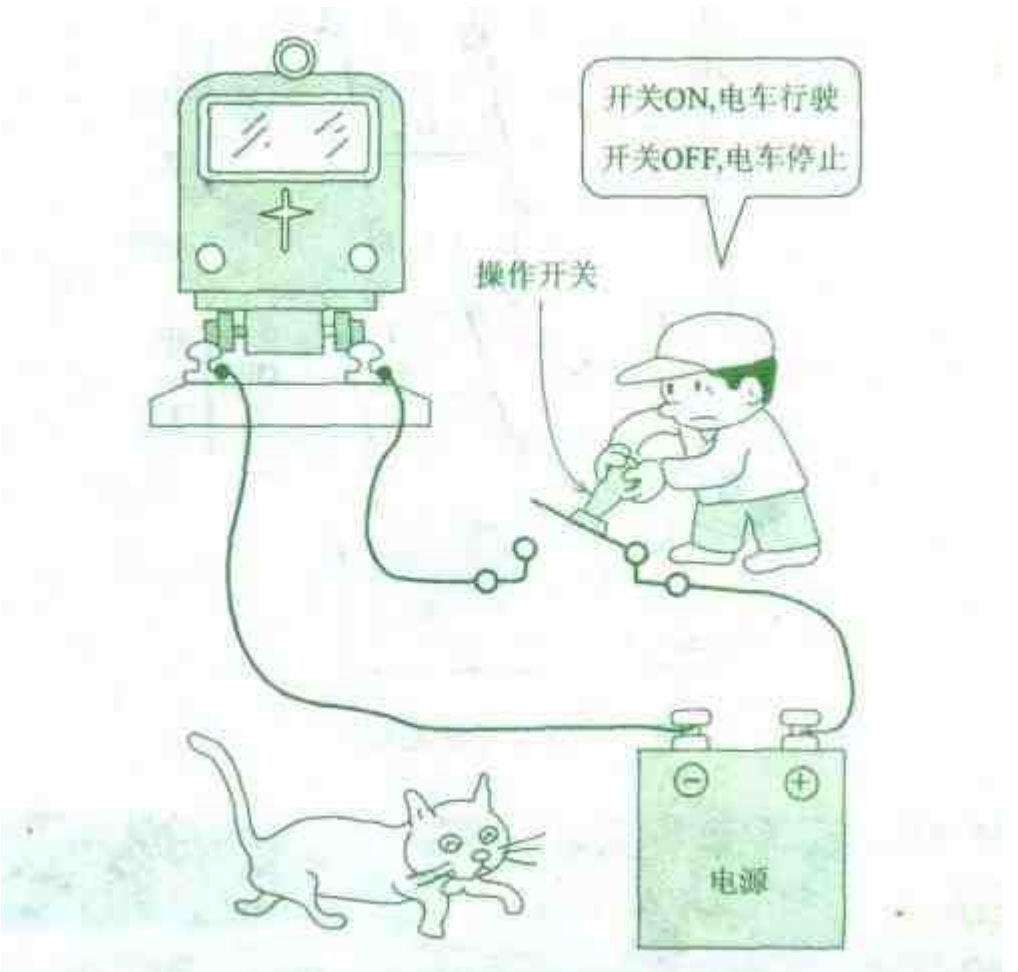


图 7　电车的行驶与停止

② 切断开关，切断了电源供给电动机的电流，使电动机停止转动，电车就停止运行。

流过轨道线路的电流只有一个固定的方向，电车也只能朝一个方向行驶。

Ⅳ　使电车双向行驶

如图 8 所示，电源通过两个开关来向线路供电。

开关 2 拨到 a 端时　内侧线路接到电源正极，外侧线路接到电源负极。当开关 1 接通时，电流从内侧线路流入，电车以顺时针方向行驶。

开关 2 拨到 b 端时　外侧线路接到电源正极，内侧线路接到电源负极。当开关 1 接通时，电流从外侧线路流入，电车以相反方向行驶。

切断开关，电流被切断，电车停止运行。

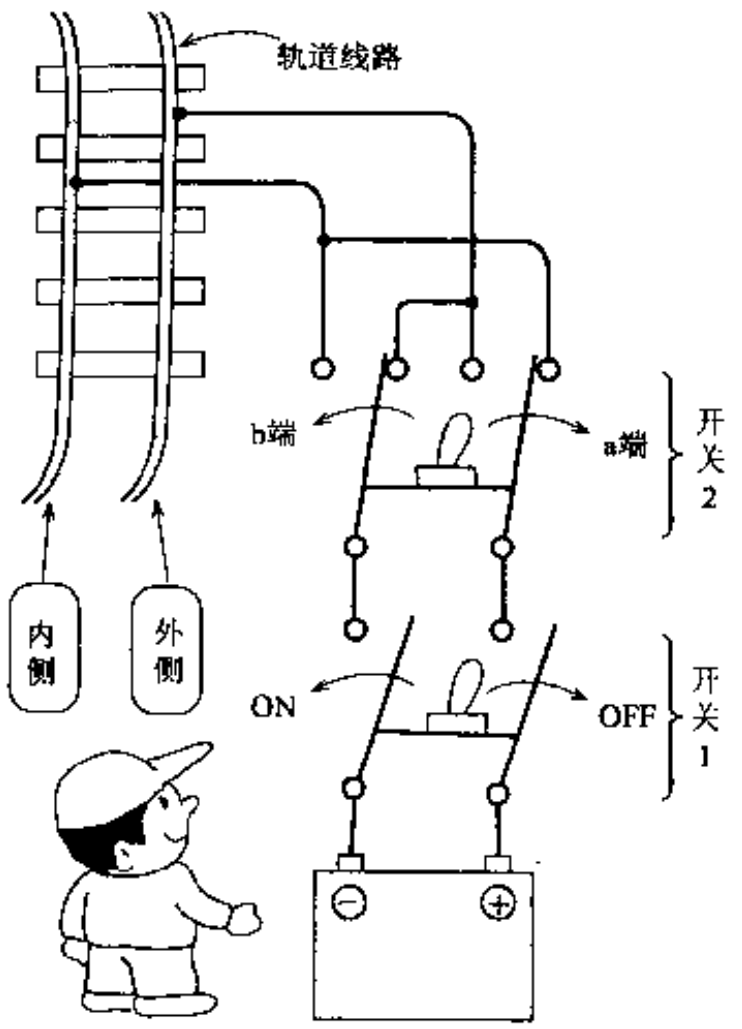


图 8　双向行驶的配线

Ⅴ　改变电车的行驶速度

要改变电车的行驶速度，只要改变供电电源的电压就能实现。

通常，铁路模型电源的额定电压是 12V，以额定电压运行时的行驶速度最快，电压越低，行驶的速度也越慢。一般采用可调电源，通过改变电源电压来控制施加在模型电车上的电压，从而控制铁路模型的行驶速度。

图 9 是改变电压方法的一个例子，是由 8 节电池、7 个开关与连接线组成的电路。

① 将开关 1 接通，则有两节电池串联，电压为 3V；

② 将开关 1 与开关 2 接通，则有三节电池串联，电压为4.5V；

③ 同样地，每接通一个开关，电压就增加 1.5V，若七个开关全部接通时，则有 8 节电池串联，电压为 12V。

实际上，因为从电源到电动机之间总有些线路上的损耗（电压降），所以施加在电车电动机上的电压，要比电源电压稍微低一些。

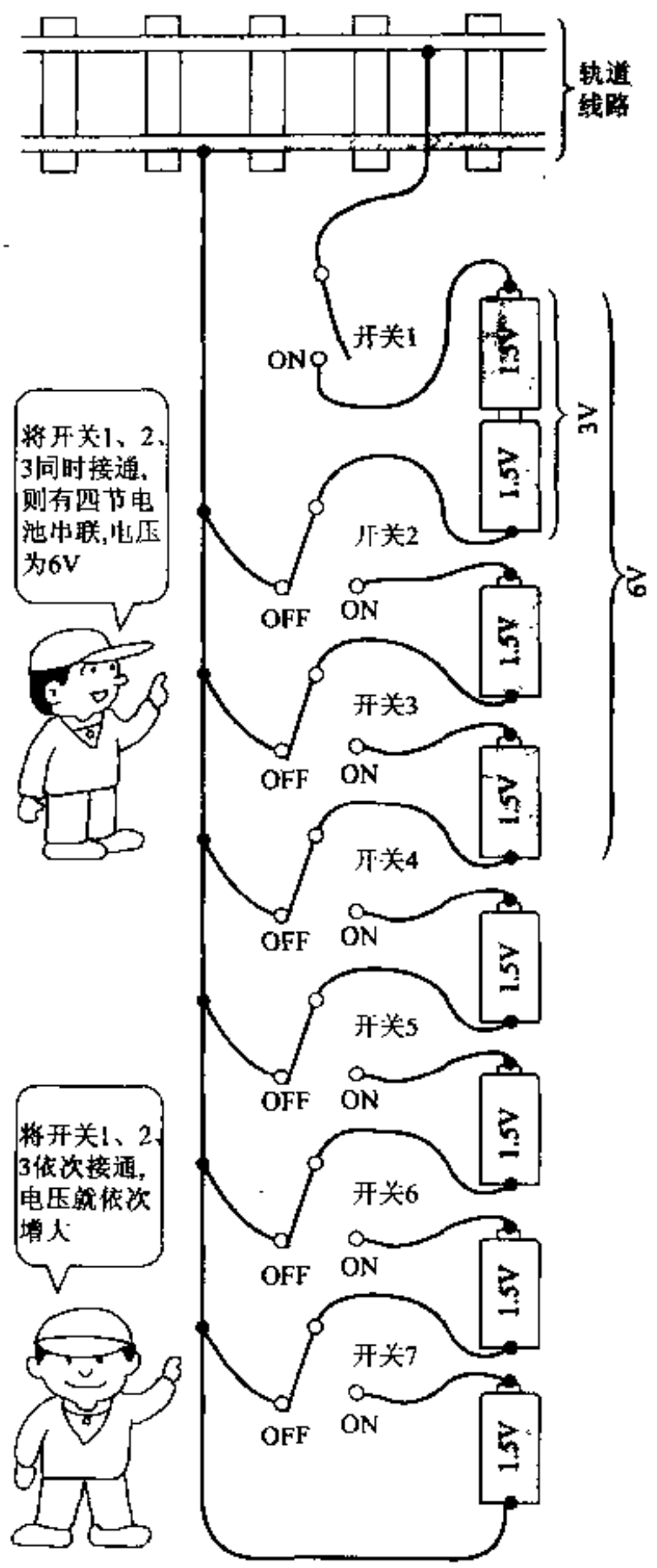


图 9　能改变电车行驶速度的电路实例

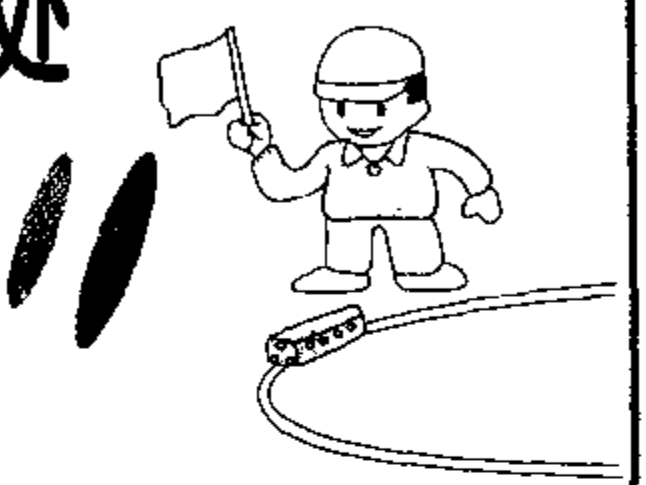
练习题

1. 要改变电车的行驶方向，该怎么做？
2. 要改变电车的行驶速度，该怎么做？

解答

1. 改变流过模型电车的电流方向。
2. 改变施加在模型电车上的电压，电压越高，速度越快；电压越低，速度越慢。

2 模型电车在站台处的停靠



要使模型电车停靠在站台处的某个位置上，只要切断流过电车的电流，就能使电车停止，但要使电车停靠在某个规定的位置上，就必须先检测出电车已到达了哪个位置(参见图 1)。

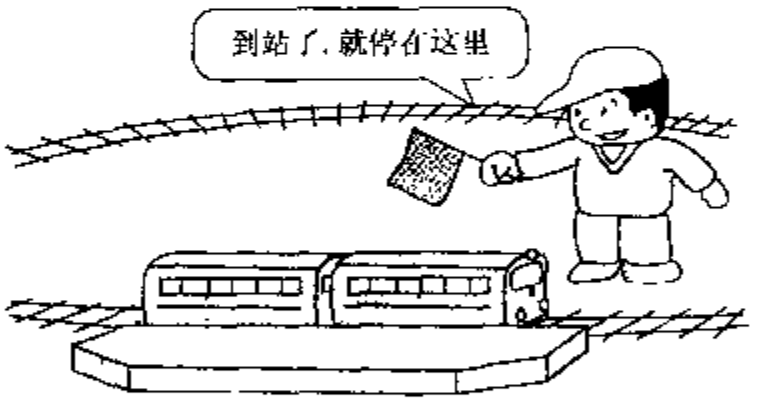


图 1　停靠在站台处的模型电车

先探讨一下使电车停止的方法。

1　使电车停止

要使电车停止，就要切断流过电车的电流。其具体的方法，可从以下几个方面来实现：

① 切断整条轨道线路的电流；

② 利用电气绝缘将轨道线路分开，只切断想要停车区间内线路的电流(参见图 2)；

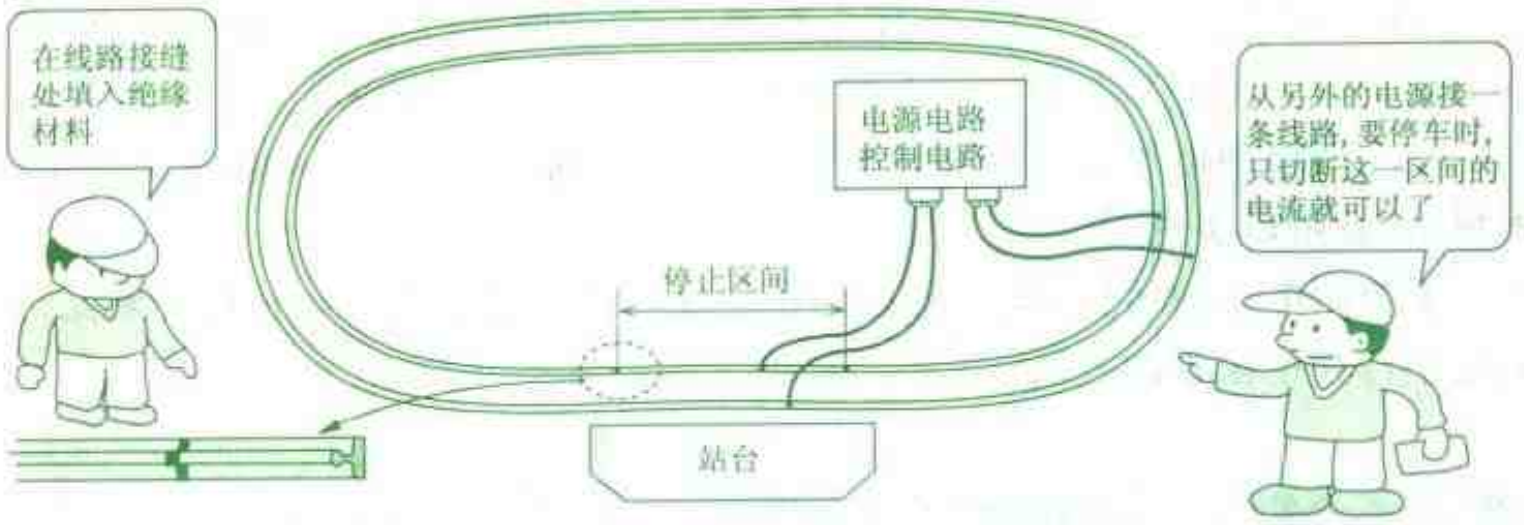


图 2 将线路分区，使电车停止

③ 在电车的电路中加入开关，用外部信号来操作开关；

④ 将电车底部抬起来，使车轮离开轨道。

铁路模型大多采用方法②。

电流切断时，电车会由于惯性的作用滑行一段距离才停止。要想准确地停止在规定的位置上，还应考虑切断电路的延时问题。

何时切断流过电车的电流，要根据电车的行驶速度不同而有所区别。假如能在切断电流前让电车保持恒定速度，停止前惯性滑行的距离就是一定的，就能使电车相当准确地停止在规定的位置处（参见图 3）。

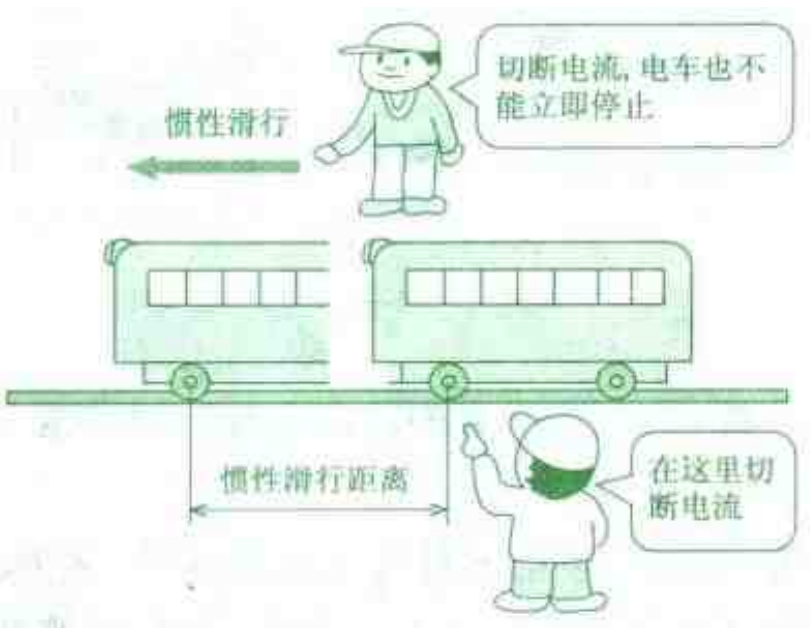


图 3 使模型电车停止

在电车上加装制动器，是使电车准确地停止在规定的位置的最好方法，但是要在模型电车上加装机械制动器，构造方面显然是不合理的。如果利用电动机的反电势，采用电子制动器的方法，电路很复杂。在使用电子制动器时，当确

认电车已到达规定的位置后，先使电车减速，再切断流过电动机的电流，使制动器动作。若电车上装上了这种电路，就可轻松地控制多台电车。

在小型模型电车上加装这种电路显然不大现实，如将这种电路集成化，体积很小，就可以实现了。

要控制电车的运行，检测电车正在行驶中的位置很重要，下面就来探讨检测电车行驶中位置的方法。

检测电车行驶中的位置

检测电车行驶中位置的方法很多，主要有以下这几种：

① 应用光传感器(参见图4)

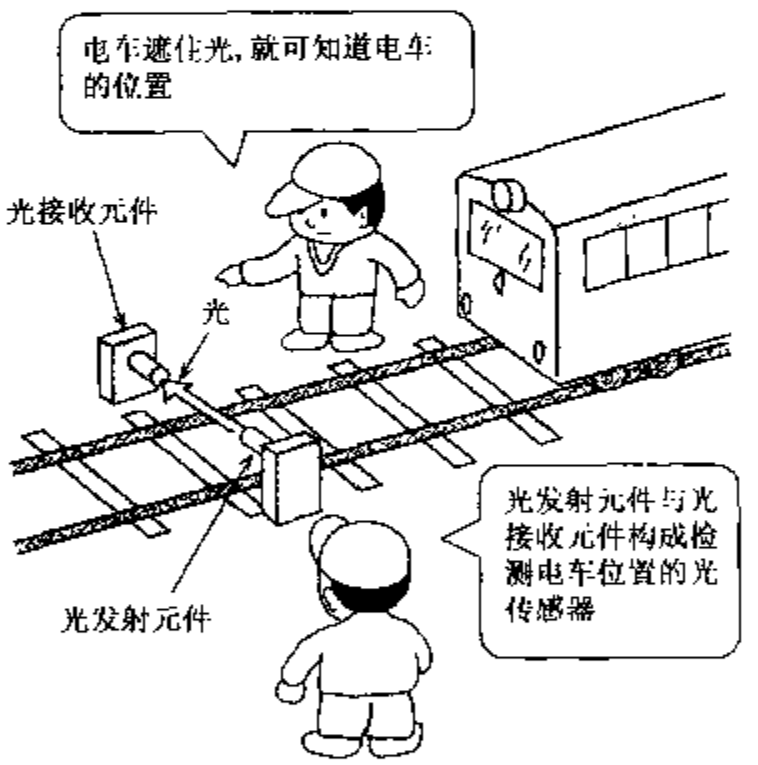


图4 应用光传感器检测电车行驶中的位置

在轨道线路两边，设置光发射元件与光接收元件，光发射元件一直发光，光接收元件也处于接收到光的状态。当有电车通过时，就遮挡了光发射元件所发射过来的光，就能检测到电车到达的信息。

② 应用磁性传感器(参见图5)

模型电车的车架底部装有磁铁，在需要检测的位置装有磁传感器，当电车通过时磁性传感器对电车上的磁铁有反应，就检测出电车所到达的位置。也有采用“干簧管”来代替磁性传感器检测的。

③ 应用限位开关(参见图 6)

在轨道线路旁安装限位开关,在电车指定位置上设置碰块,当电车通过时,电车上的碰块碰到限位开关就能检测出电车到达的位置。

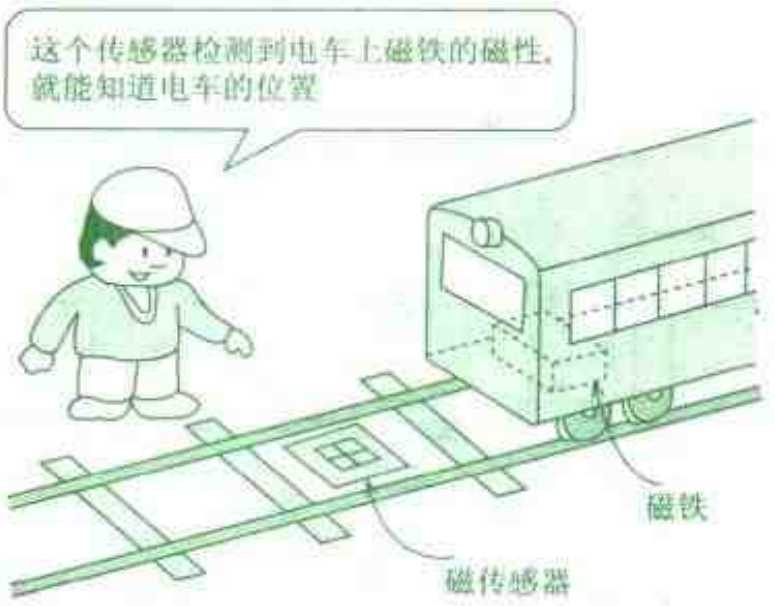


图 5　应用磁传感器检测电车行驶中的位置

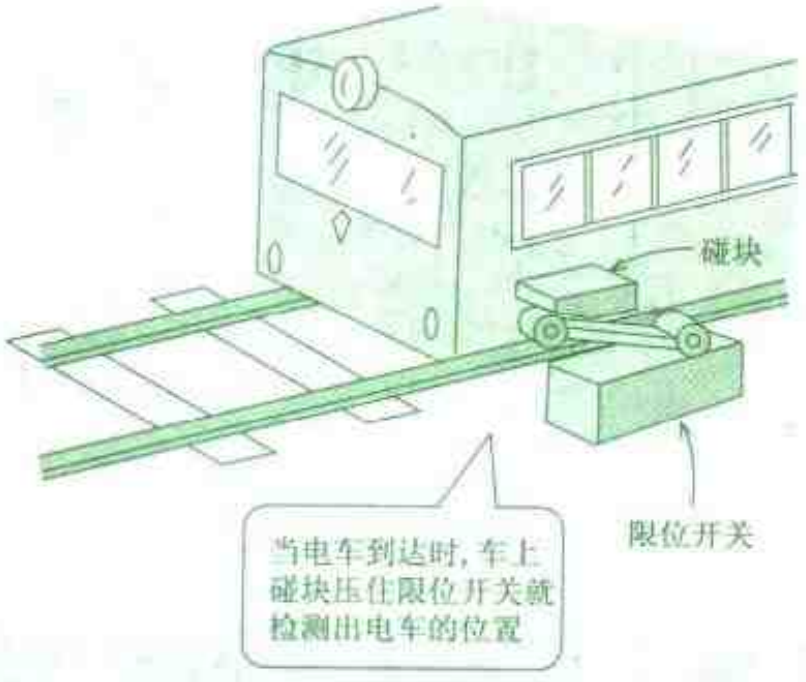


图 6　用限位开关检测电车行驶中的位置

④ 在铁路模型中,大多采用对轨道线路分区通电的方法,若有电车来到该区间,就会有电流流过,根据流过电流的大小,就能检测出电车到达的位置。

其检测方法如图 7 所示,将电源连接到轨道线路上,在电源的正极上连接两个二极管(硅管),并把它们连接到旁边的晶体管基极上,当二极管正向导通时,将产生约 0.7V 的正电压。在图示的分区中,电车到达之前,线路上没有电流流过。若有电车到达此区间,电路中流过电流,两个二极管的两端就会产生

1.4V 的电压，即晶体管的基极上就加上了 1.4V 的电压，使晶体管处于导通状态，此时晶体管集电极上的电压由电源的电压 E V 变为 0V，根据晶体管变化信号，就检测出有电车到达了这一区间。要使电车停止在规定的位置，就需要准确地检测电车的位置，用简单的操作使它停止。

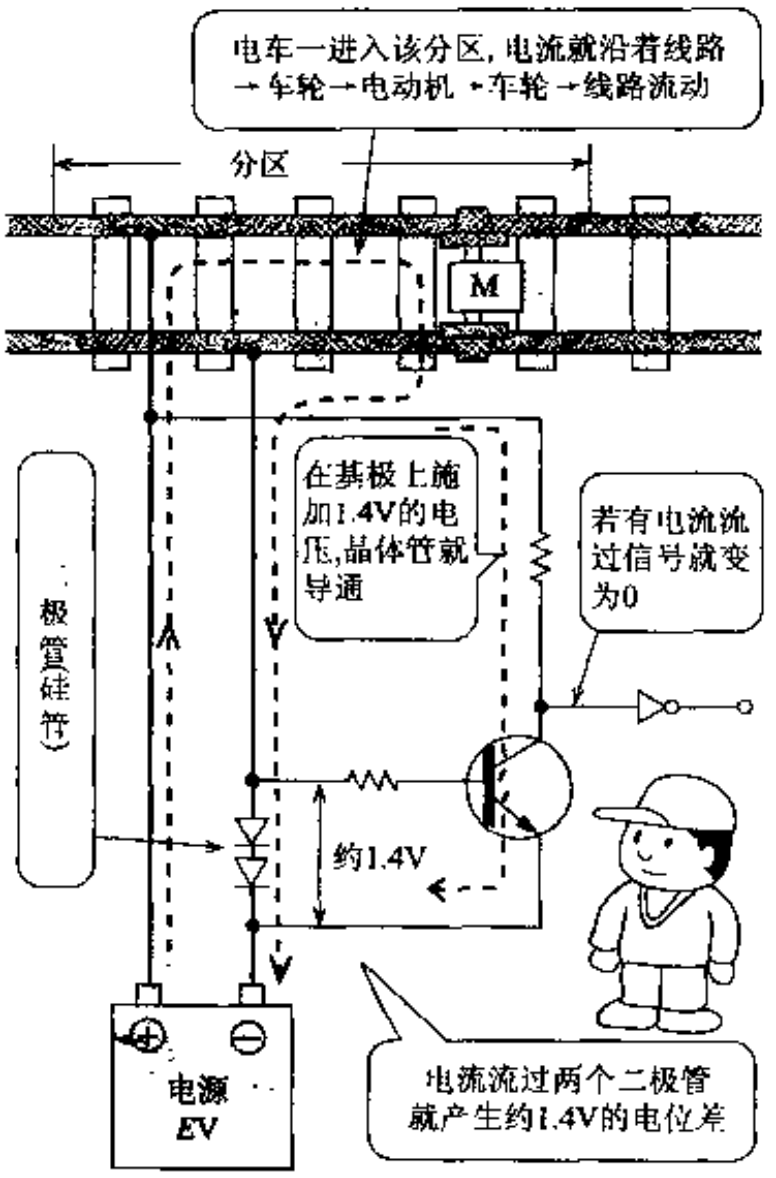


图 7　使用二极管与晶体管检测

Ⅲ　模型电车的动力系统

模型电车的动力系统如图 8 所示。从直流电动机输出的动力，通过装在电动机轴上的蜗杆与车轴相连的蜗轮传递到车轮上，传至减速装置，使电车减速。减速装置的减速比为 1/15～1/20，直流电动机输出动力的大小与模型电车的行驶速度有关。

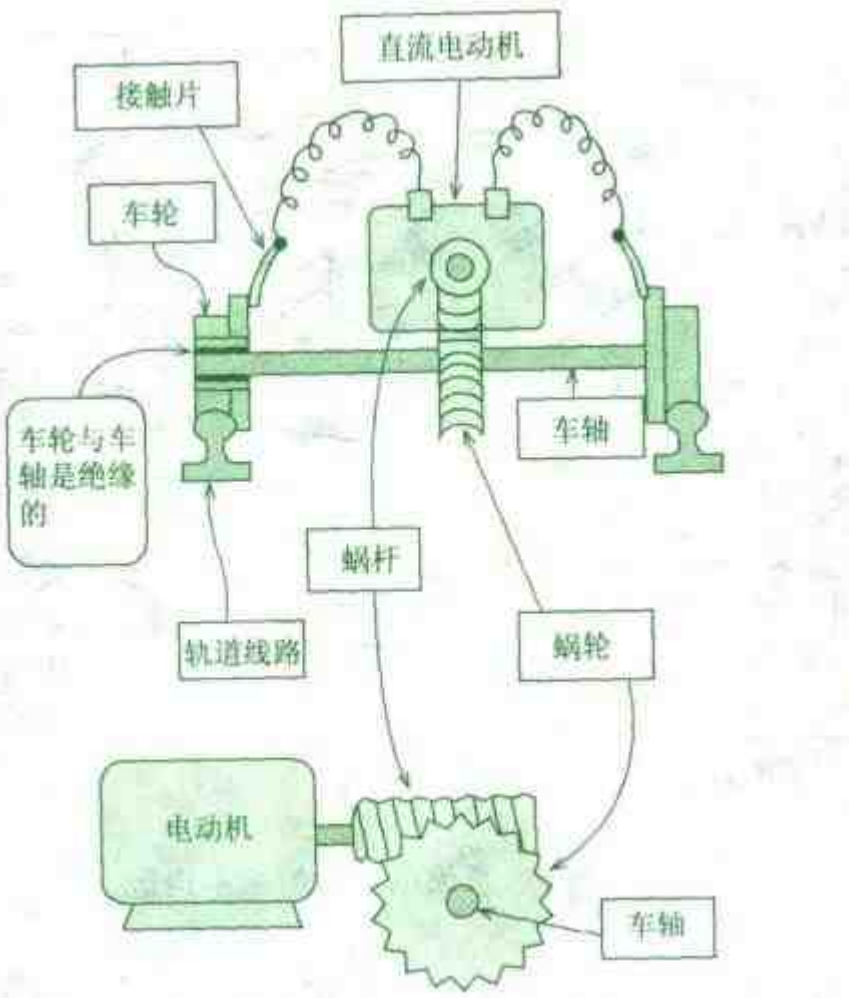


图 8 模型电车的动力系统

Ⅳ 小型直流电动机

直流电动机的基本构造如图 9 所示。

① 定子(永久磁铁)；

② 转子(电枢、线圈与铁芯)；

③ 整流子与电刷。

基本原理：

① 在永久磁铁的磁场中，磁通的方向(从 N 极到 S 极)是与转子的方向垂直分布的；

② 从电刷通过整流子到转子上有电流通过，根据弗莱明左手定则，就会产生使转子旋转的电磁力；

③ 若转子旋转(同时整流子也旋转)了半圈(180°)，则转子上流过的电流方向就变为反方向，但是由于转子旋转了半圈，已与极性相反的电刷接触，其电磁力所产生的旋转方向仍然保持与②相同的方向。

利用这一原理，可使电动机连续旋转。

· 电动机旋转的方向取决于电刷的极性；

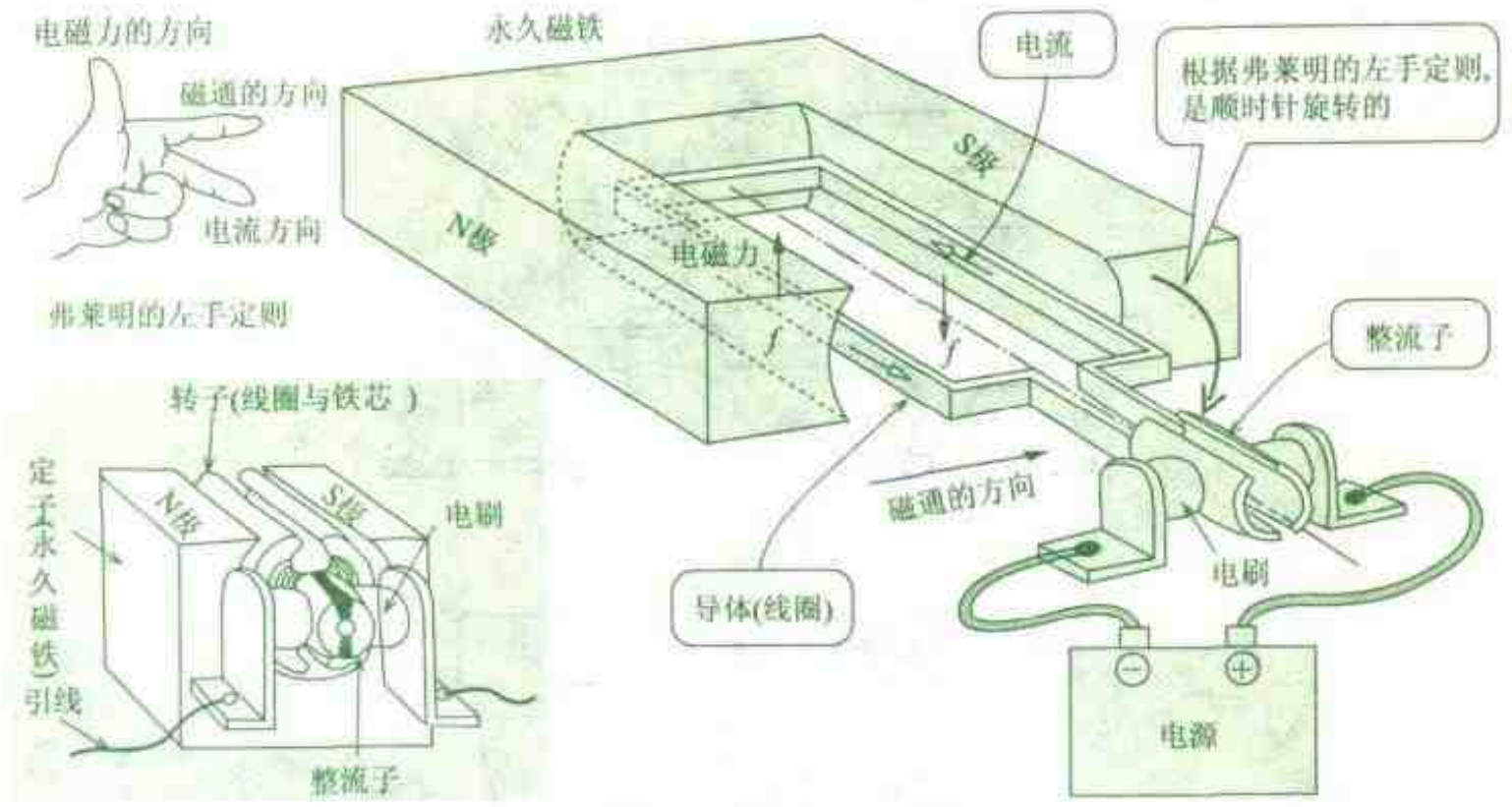


图 9　直流电动机的基本构造

• 电动机的转速与电刷之间的电压成正比，与负荷力矩成反比。

小型直流电动机在额定转矩、额定电压下的额定转速(每分钟的转数)大约为 3 000～6 000 r/min。

• 额定电压：在电动机设计时所规定的电压，也表示最高的使用电压。

• 额定转矩：在电动机设计时所规定的转矩，也表示最大的使用转矩。

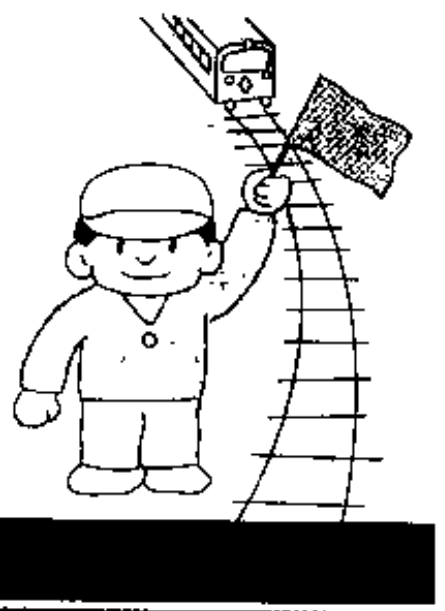
练习题

1. 要使模型电车停止，有些什么方法？
2. 要检测模型电车的位置，有些什么方法？

解答

1. 基本的方法是切断流向模型电车电动机的电流。
   ① 切断流向轨道线路的电流；
   ② 切断模型电车内流过电动机的电流。
2. 用光传感器、磁性传感器等传感器与限位开关来检测流向轨道线路的电流。

3 铁路模型的控制——简单控制



前面所述的模型电车操作，都是靠人工用开关来操作的。

当模型电车靠近站台，要控制模型电车自动停止时，不用人工直接在车内操作开关，而是用传感器的电信号来检测电车位置。其办法是用继电器（电磁继电器）或晶体管这类器件来解决。现在就来研究使用继电器或晶体管对铁路模型的简单控制（参见图 1）。

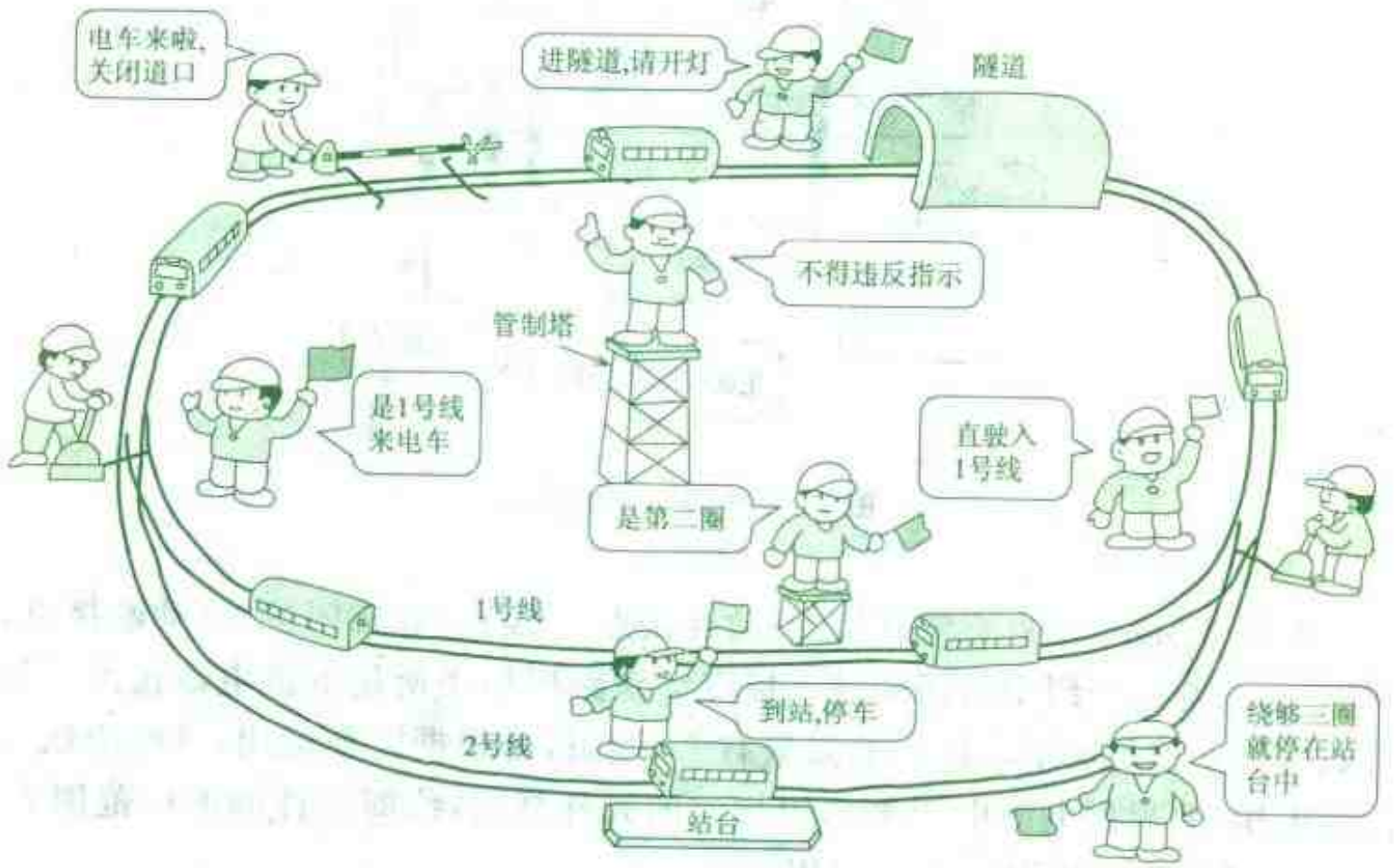


图 1　铁路模型的控制

1　继电器的用途及结构

继电器就是“利用电磁效应使接点接通、断开的接点开关”。铁路模型控制中用的继电器都是小型的，由接点、电磁铁、弹簧等构成（参见图 2）。它的接点是靠弹簧或电磁铁来拉动的。

① 当电磁铁的线圈上没有电流流过时，靠弹簧力使接点处于断开状态；

② 当电磁铁的线圈上流过电流时，电磁铁所产生的磁力就使接点闭合。

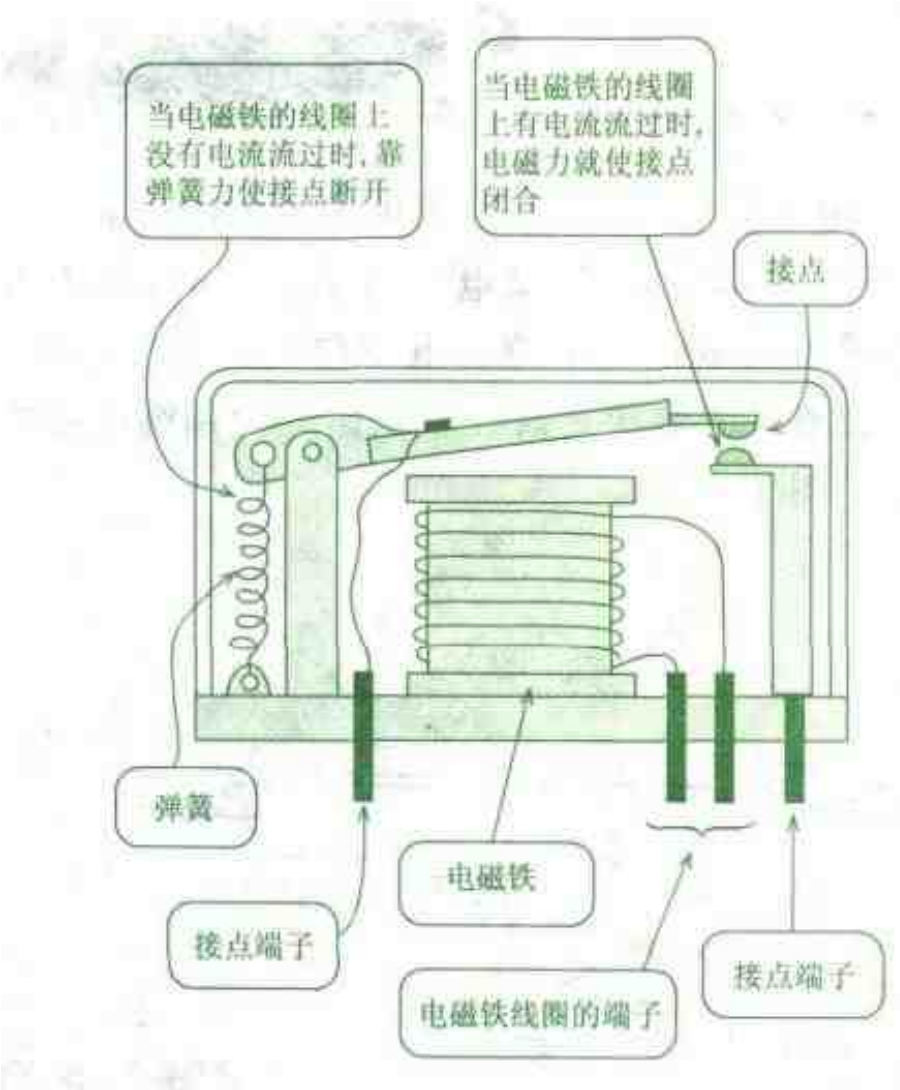


图 2　继电器的基本结构

如图 3 所示，接点有常开接点（动合接点、a 接点）和常闭接点（动断接点、b 接点）。①与②介绍中所用的是 a 接点。铁路模型中所用的继电器接点容量，有数百毫安就足够了。接点的数量有 1～4 组，可根据需要选用。（电磁铁）线圈的电压，要根据电源电压来选用相应的元件规格，线圈元件的电压范围为 5～12V，其额定功耗为 0.2～0.4W。

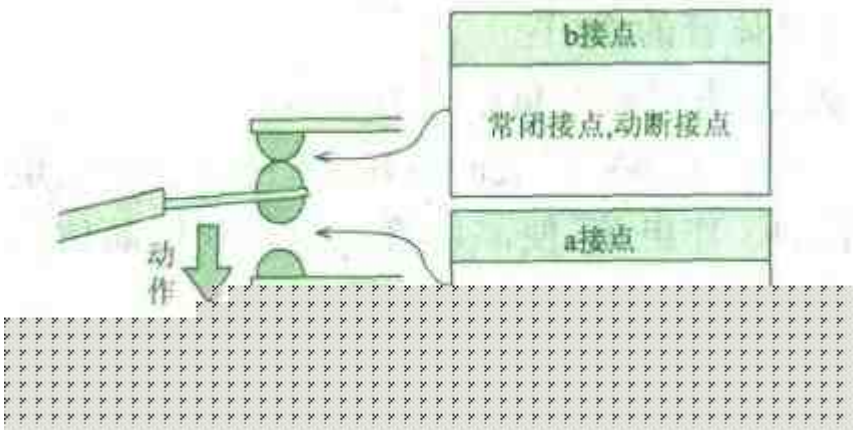


图 3　a 接点与 b 接点

Ⅱ　晶体管的用途及结构

可以把晶体管看作“用电气信号来动作的无接点开关”。

晶体管分为 npn 型和 pnp 型，它由基极、集电极与发射极三个电极构成。这里先介绍常用的 npn 型晶体管。

npn 型晶体管的图形符号如图 4 所示，其外观参见图 5。

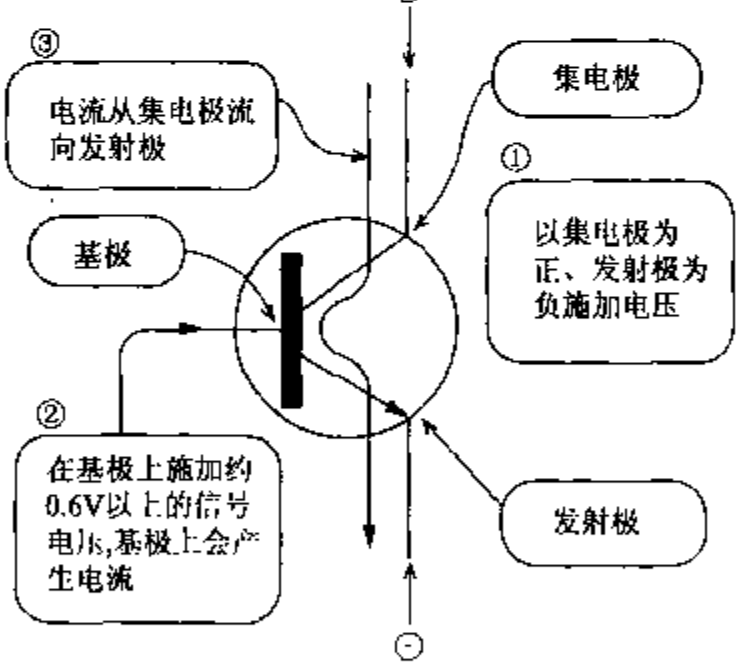


图 4　npn 型晶体管

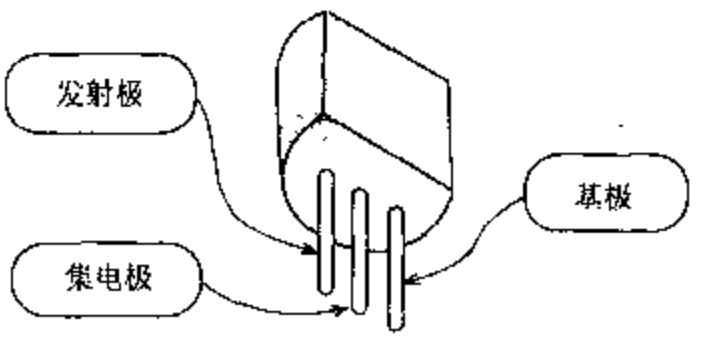


图 5　晶体管外观之一例

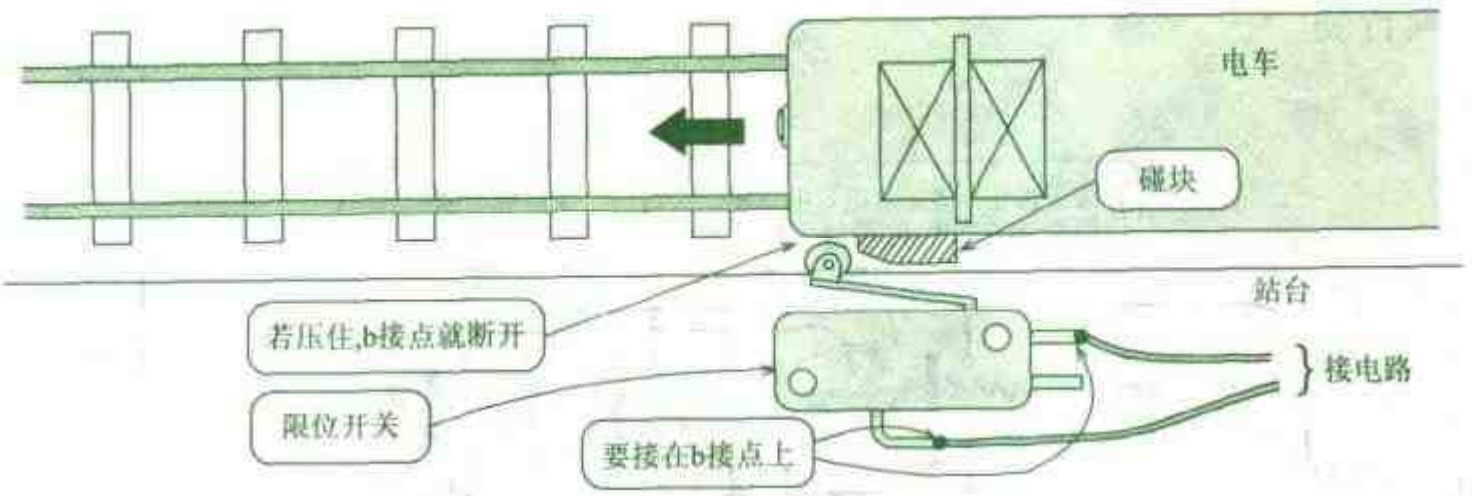


图 8　安装限位开关的例子

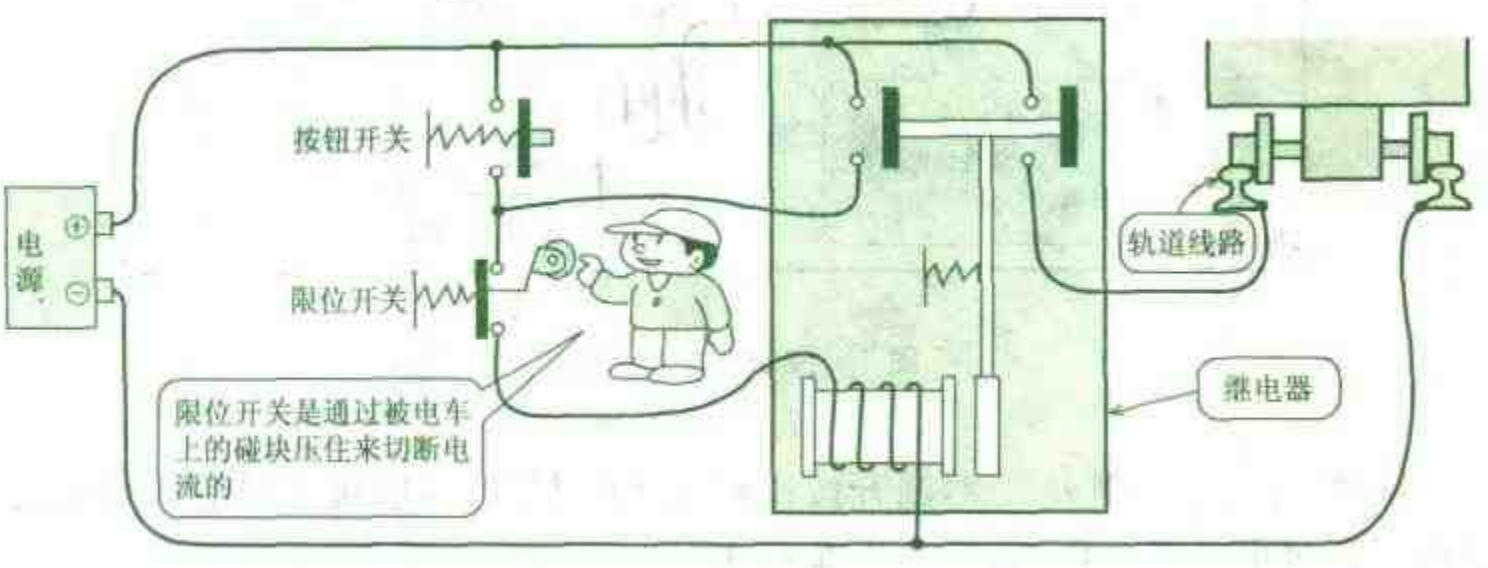


图 9　使用限位开关控制的例子

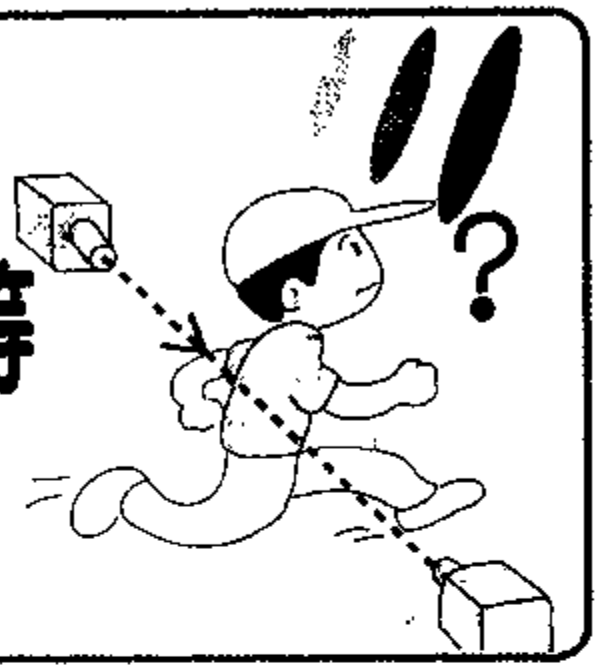
练习题

1. 什么器件是利用电磁效应来使接点接通、断开的?
2. a 接点与 b 接点有何不同?

解答

1. 继电器(电磁继电器)。
2. a 接点在动作时才闭合,未动作时一直保持断开状态;b 接点则相反,在动作时才断开,未动作时一直保持闭合状态。

4 铁路模型的控制——使用定时器等



在铁路模型的轨道线路上，使用定时器与各种传感器，对电车的运行进行各种控制。

I　使电车按规定时间在车站停车

按图 1 所示铺设轨道线路与设置车站线路，并将车站区间内的线路与其他线路用绝缘材料隔离。在进入车站区间之前，用光传感器控制，在车站的中间位置安装限位开关，然后按以下的要求动作来设计控制：

·动作·

① 接通电源开关，按下按钮开关 1，电车就以顺时针方向行驶；

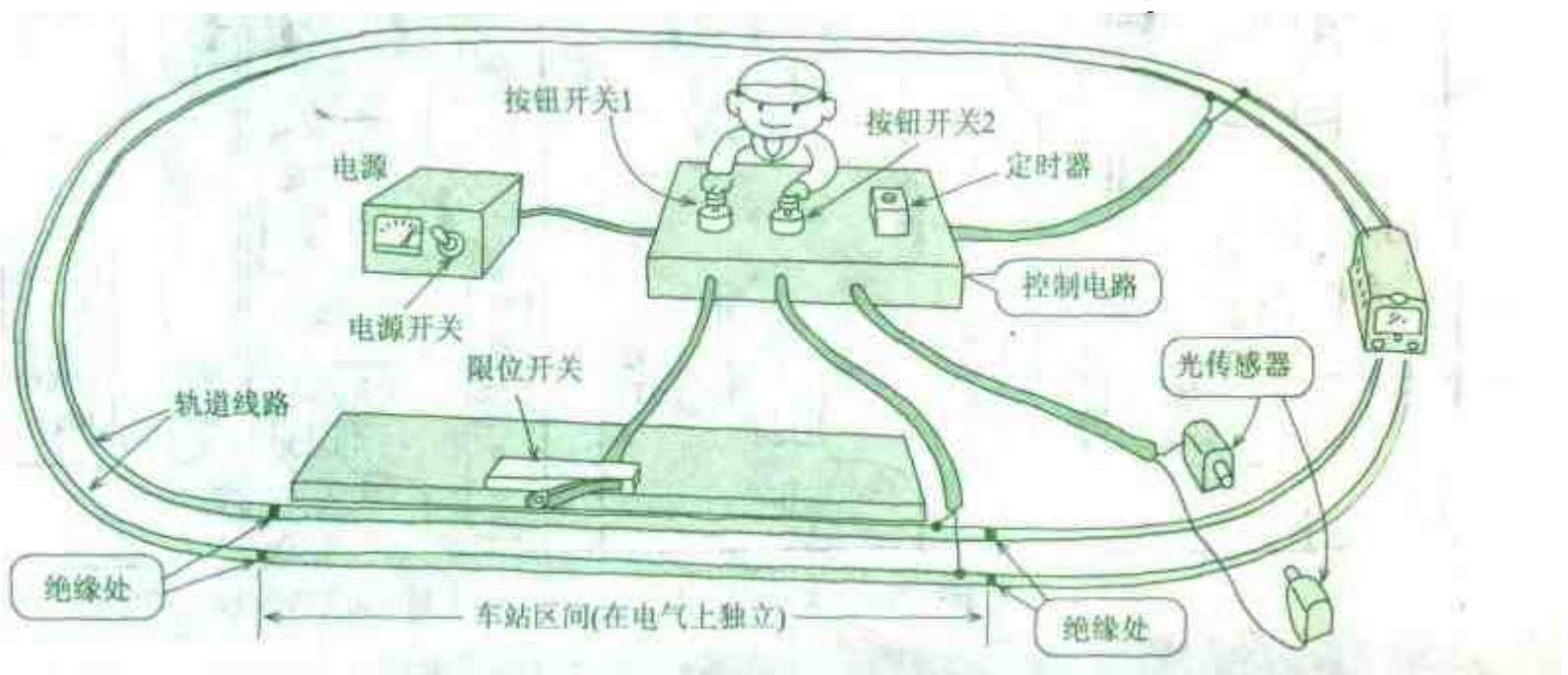


图 1　铁路模型的铺设图

② 电车驶进车站时，用设置在车站边上的光传感器来检测电车的到达，切断施加在车站区间轨道线路上的电源；

③ 电车进入车站区间时，由于惯性的作用虽然电动机电源已被切断，电车仍滑行一段距离才停止；

④ 这时，限位开关可检测到电车的到达，使定时器工作，经过一定时间后，电车就停靠在车站内。

⑤ 到了规定的停车时间，电车就再次开始行驶，重复②、③、④的动作。

⑥ 按下按钮开关 2，电车就停止运行，结束②、③、④、⑤的动作。

·控制·

控制电路的配线，可对下述的动作进行控制（参见图 2）。

① 接通电源开关，若按下按钮开关 1（启动），电流流过电磁继电器 R1，继

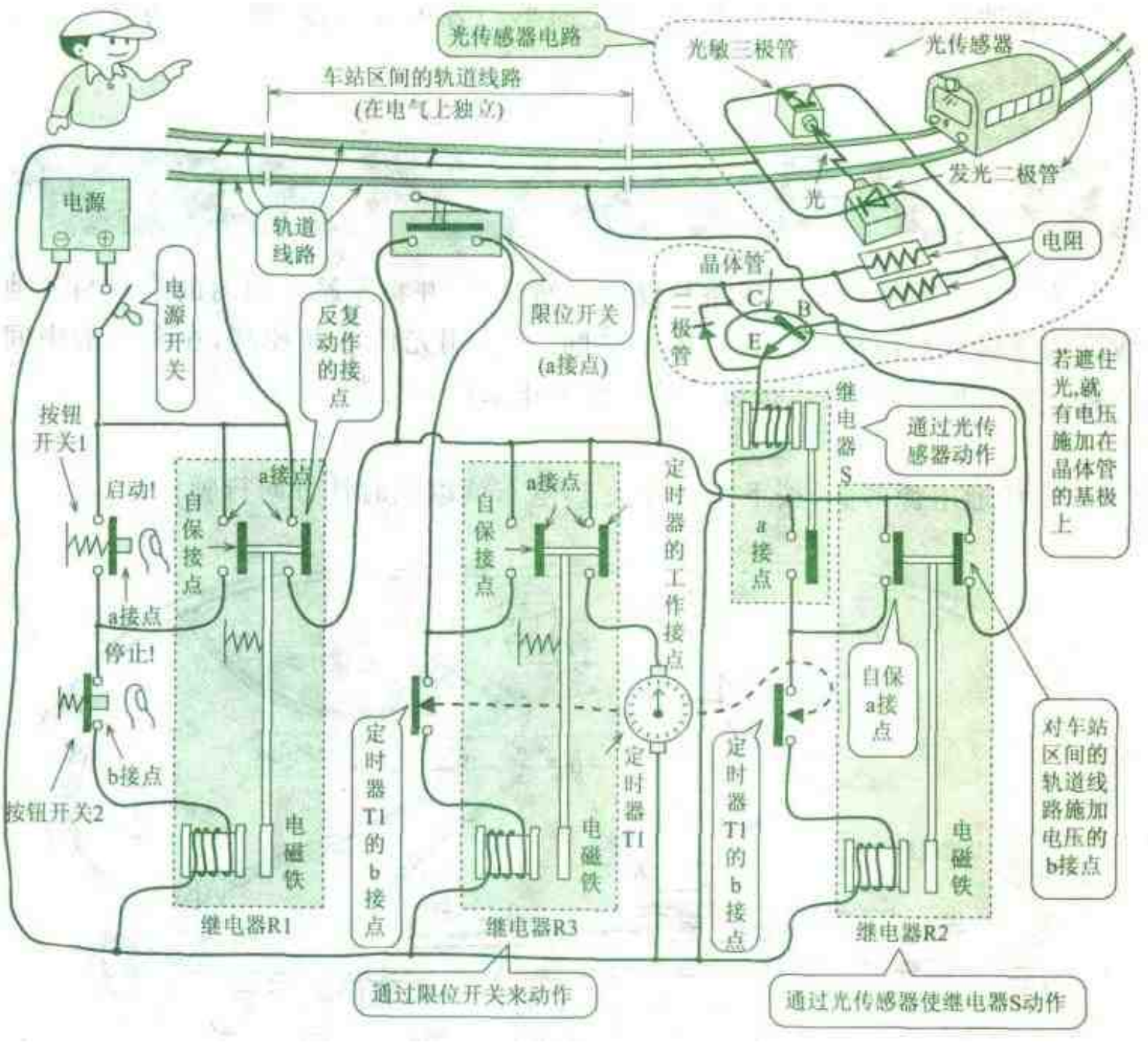


图 2　使用定时器电路的配线实例

电器 R1 动作，使其 a 接点闭合；

② 即使松开按钮开关 1，因与它的接点并联的继电器 R1 的 a 接点已闭合，所以继电器 R1 的电磁线圈中仍然有电流流过（自保）；

③ 继电器 R1 的 a 接点闭合，就有电流流过电磁继电器 R2 的 b 接点，并流入与车站区间的轨道线路相连接的电路，使原来停在车站内的电车开始行驶；

④ 电车驶近车站时，车站边上的光传感器的光被遮挡，于是光传感器的光敏三极管不再导通，电流便流过传感器电路晶体管的基极，使晶体管导通，于是，接在发射极上的继电器 S 的线圈通电，使其接点动作；

⑤ 继电器 S 的 a 接点闭合，继电器 R2 的线圈就流过电流，使其接点动作；

⑥ 继电器 R2 的 b 接点断开，切断了施加在车站区间轨道线路上的电源；

⑦ 电车行驶到离开光传感器部位时，就有光照射到光传感器光接收端，继电器 S 的 a 接点就断开，因与它并联的继电器 R2 的 a 接点闭合，所以继电器 R2 的电磁线圈中仍然有电流流过（自保持）；

⑧ 由于电车进入车站，当电车上的碰块压住限位开关时，继电器 R3 的线圈就流过电流，使其接点动作；

⑨ 继电器 R3 a 接点闭合，它所连接的定时器 T1 流过电流使定时器动作；

⑩ 因电车行驶，就离开了限位开关的位置，限位开关上的接点会立即断开，但是由于与它并联的继电器 R3 的 a 接点闭合，所以继电器 R3 的电磁线圈中仍然有电流流过（自保持）；

⑪ 到了定时器 T1 设定的规定时间，则定时器 T1 动作；

⑫ 定时器 T1 的 b 接点断开，与它连接的继电器 R2 的线圈就断电，解除了继电器 R2 线圈的自保持，使继电器释放；

⑬ 于是与车站区间的轨道线路相连接的定时器 R2 的 b 接点恢复，使轨道线路接通电源，电车又开始行驶；

⑭ 与继电器 R3 相连接的定时器 T1 的 b 接点断开，继电器 R3 解除自保持，与定时器 T1 相连接的继电器 R3 的 b 接点也断开，使定时器 T1 停止工作；

⑮ 电车驶近车站时，就重复进行④～⑭的动作；

⑯ 按下按钮开关 2，解除继电器 R1 线圈的自保持，使继电器释放，停止重复进行的动作。

Ⅱ 使电车在轨道上行驶三圈再停止

利用图 1 所示的铁路模型，设计如下所述的动作：

·动作·

① 接通电源开关，按下按钮开关 1，电车驶出车站；

② 电车行驶一圈，被装在车站边上的光传感器检测到；

③ 根据光传感器发出的信号，用计数电路来计算电车行驶圈数，若接收到第三圈的信号，就发出让电车停止运行的信号；

④ 切断供给车站区间轨道线路的电源，使电车停在车站上，动作结束。

·控制·

根据图 3 所示电路的配线图来加以说明。

在Ⅲ中所介绍过的“用按按钮开关 1(a 接点)”来发车，用“按按钮开关 2(b 接点)”来停止的电路中，用继电器 S 的 b 接点来取代“按钮开关 2”的 b 接点，继电器 S 的 b 接点则是通过“判断电车通过次数的计数电路”来动作的。

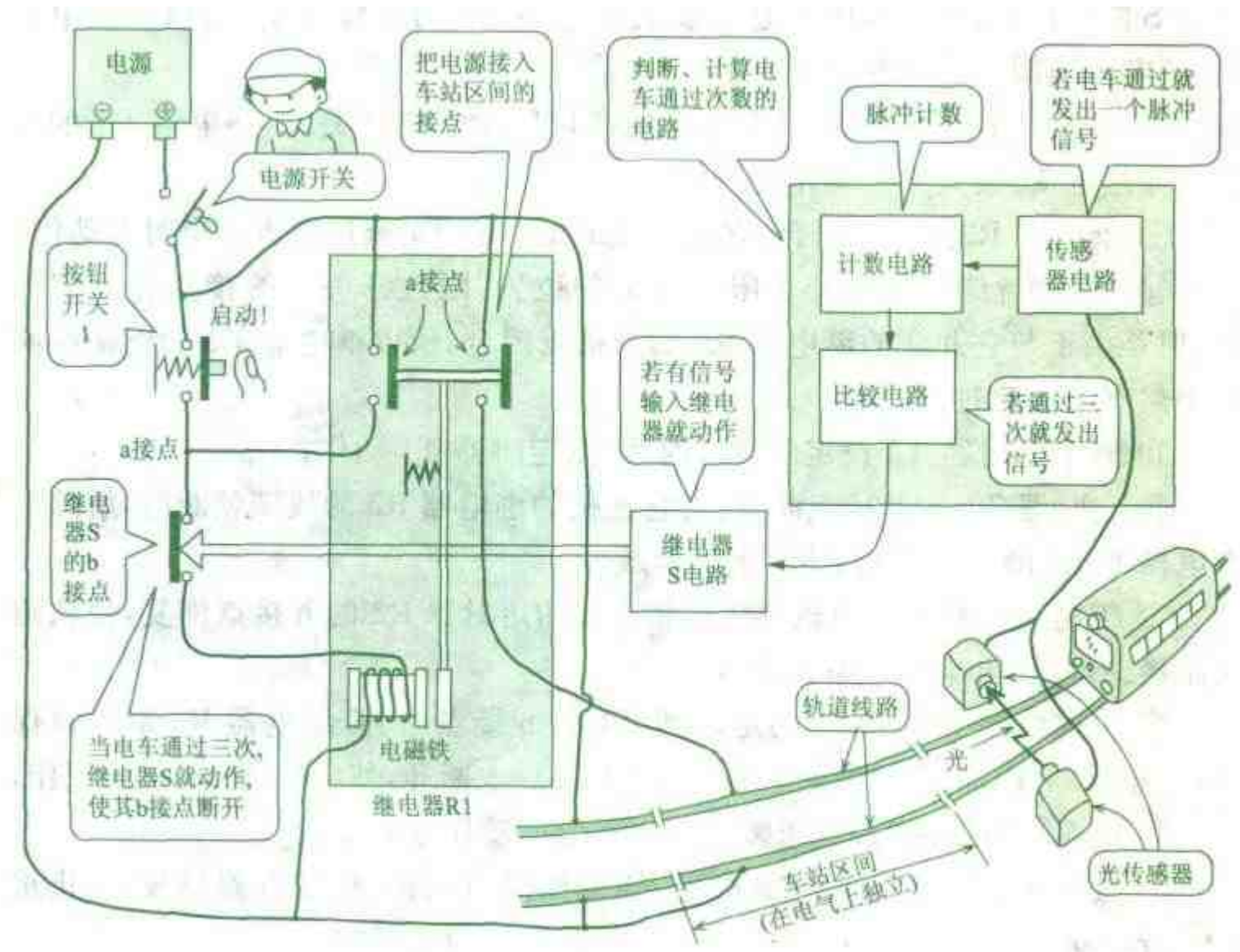


图 3　行驶三圈停止的电路配线图

① 接通电源开关，按下按钮开关 1(a 接点)(启动)，继电器 R1 动作；

② 继电器 R1 的两个 a 接点闭合，使继电器 R1 自保而将其线圈接到电源，电车开始行驶；

③ 利用装在车站边上的光传感器来检测电车的通过情况，并且向“电车通过次数的计数判断电路”发出脉冲信号(⎍)；

④ 电车通过三次(输入三个脉冲信号)时，“电车通过次数的判断电路”就使附属继电器 S 动作；

⑤ 继电器 S 的 b 接点断开，使继电器 R1 释放；

⑥ 继电器 R1 的 a 接点恢复，切断轨道线路的电源，使电车停止，继电器 R1 也解除自保持。

现在，简单介绍一下图 3 中计数电路与比较电路的原理。

① 将两个触发器电路(FF 电路)和与(AND)电路按图 4 连接；

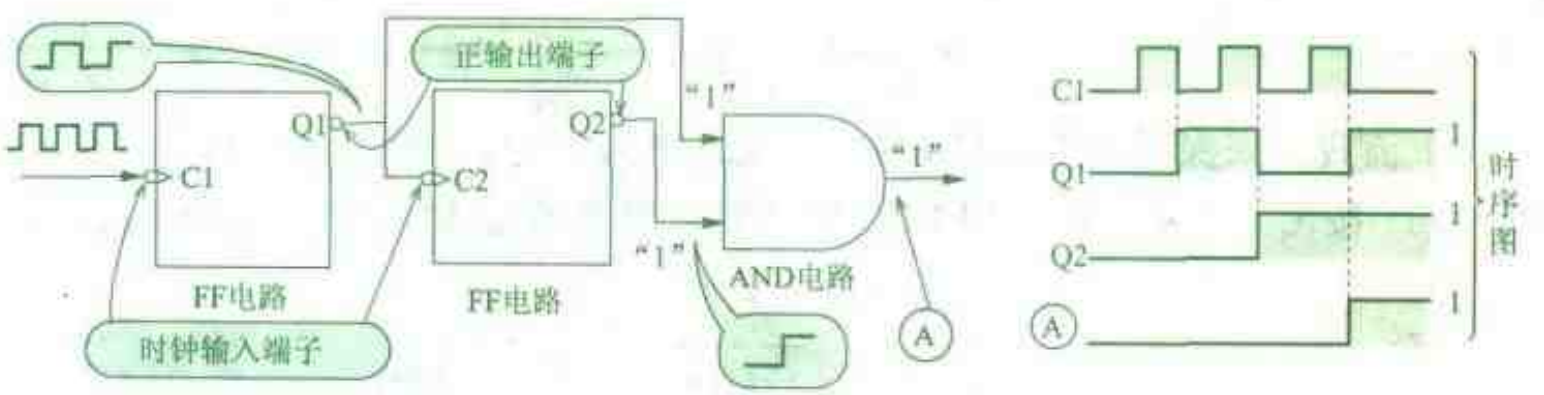


图 4　计数电路与比较电路举例

② 若 FF 电路的时钟输入端子 C1 输入两个脉冲(⎍⎍)信号，输出端子 Q1 就输出一个脉冲(⎍)信号。

③ FF 电路的时钟输入端子 C1 输入三个脉冲信号时(绕三圈时共计三个脉冲)，FF 电路的两个输出端子 Q1、Q2 均输出“1”信号(相当于 FF 电路构成的计数器)。

④ 当输出端子 Q1、Q2 的输出信号“1”输入 AND 电路时，AND 电路就输出信号“1”(AND 电路相当于比较电路)。

⑤ 将这一 AND 电路的输出信号输入到继电器电路，使继电器 S 动作。

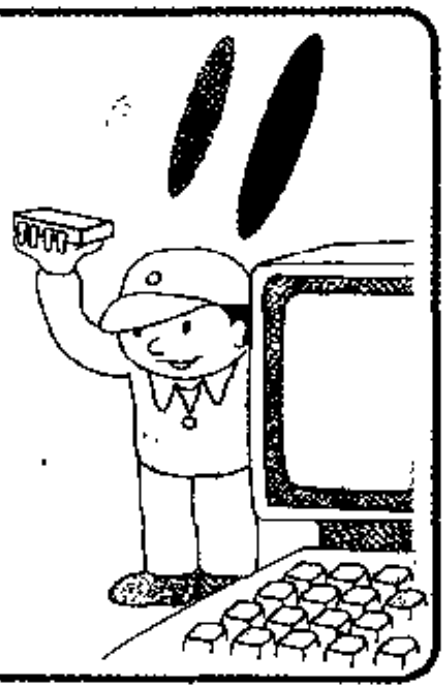
练习题

1. 使电车在车站内按规定的时间停车，需要什么控制装置？
2. 使电车沿环形的轨道线路行驶指定的圈数，需要用什么控制电路？

解答

1. 主要的控制装置是定时器。
2. 主要的电路是“计数电路”和“比较电路”。

5 微机控制(1)——用发光二极管确认输出



下面我们来探讨使用微机对实际机械的控制，将微机输入输出口与发光二极管(LED)按图 1 所示连接。用 LED 的点亮和熄灭来确认微机输出信号的状态。

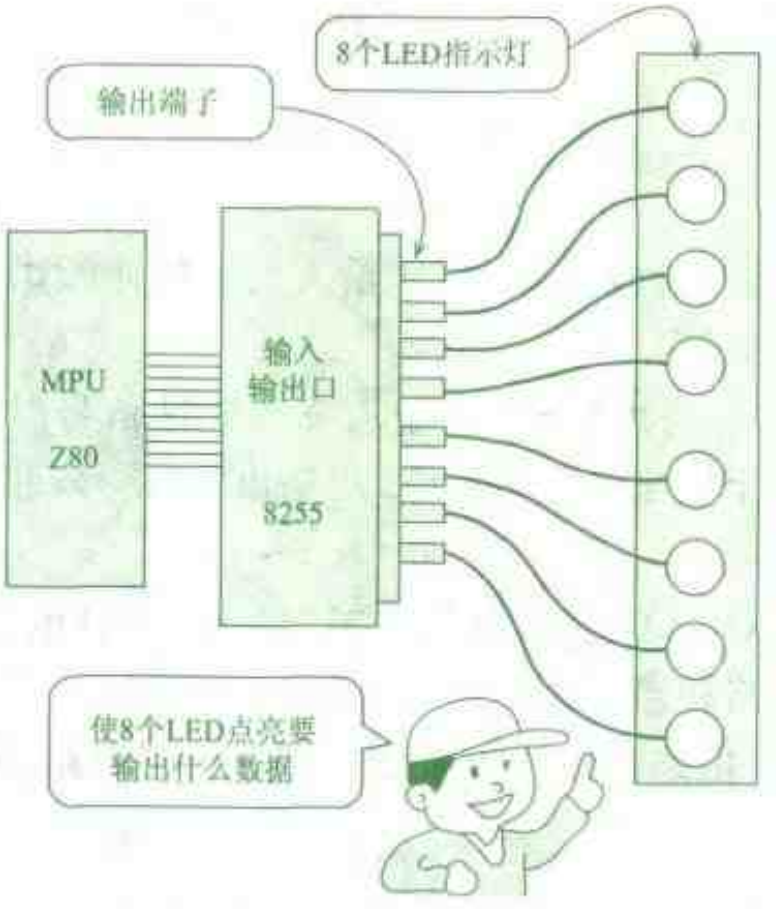


图 1　带有 LED 指示灯的微机

1 微机与 LED 的连接

以 Z80 MPU(微处理器)作为微机，用 8255 作为输入输出口来进行说明。

① 输入输出口输出信号的电气特性为：

信号“1”：　　电压 2.4～5V

(High,高电平)　　电流 −0.2mA

信号“0”：　　电压 0～0.4V

(Low,低电平)　　电流 1.7mA

(以电流流入输入输出口的方向为正方向。)

② LED 的电气特性为(红色 TLR 113(东芝))：

电压　标准　　2.1V

正向　最大　　2.8V

电流　推荐工作电流　　10～15mA

最大工作电流　　20mA

由①、②可知，用 8255 输入输出口的输出信号的电流是不能使 LED 点亮的。要用晶体管(参见图 2)或逻辑电路 IC(参见图 3)来放大电流。

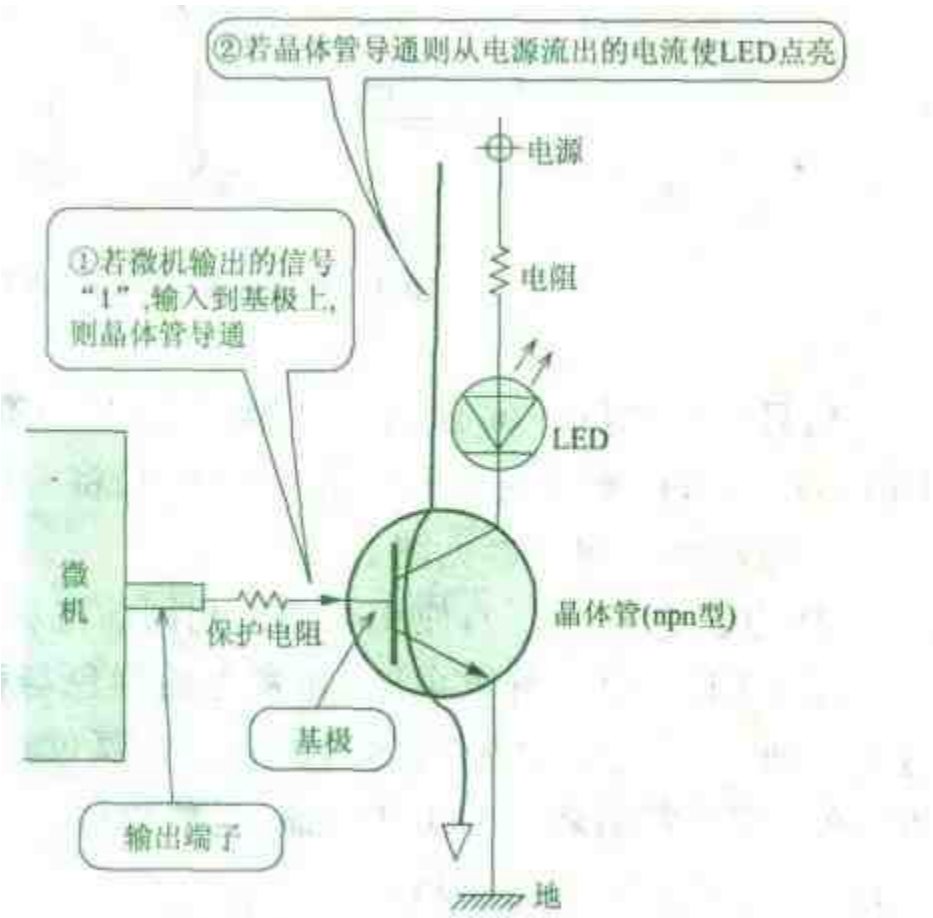


图 2　通过晶体管使 LED 点亮

现在来说明图 2 所示电路的工作原理。将从微机输出的信号“1”(2.4～5V,0.2mA)输入到晶体管的基极上，晶体管导通，电流使 LED 点亮；而输出为信号“0”(0～0.4V,1.7mA)时，晶体管就阻断，电流被切断，LED 熄灭。

图 3 所示是采用 IC 逻辑电路，由微机来控制 LED 点亮的电路例子。

IC 电路用反相电路(反相器)IC(74LS04)的输出信号的电气特性如下：

信号“1”：　　电压 2.4～5V

(High,高电平)　　电流 −0.4mA

信号“0”：　　电压 0～0.4V

(Low,低电平)　　电流 8mA

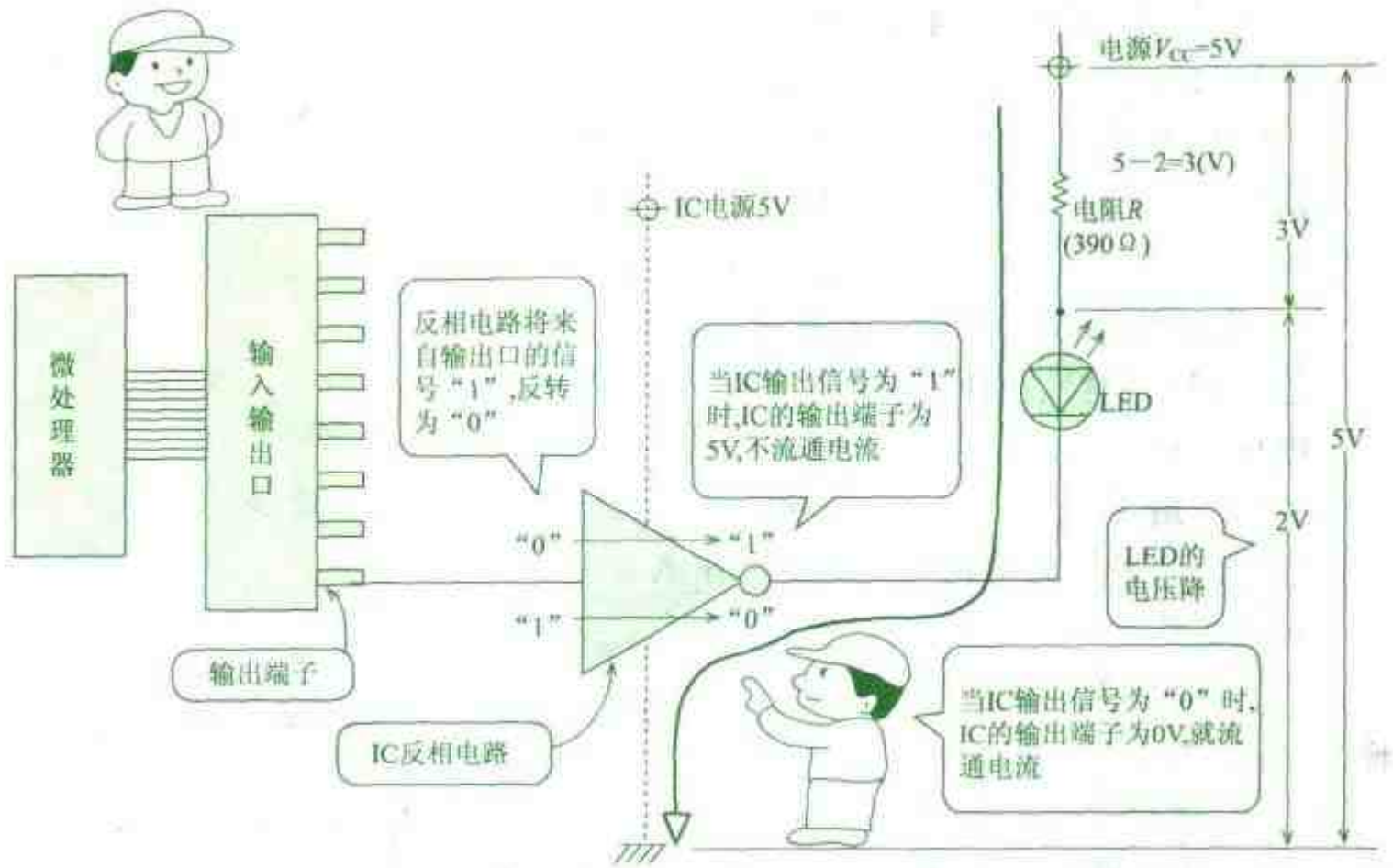


图3 使用逻辑电路的LED电路

信号为“1”时(−0.4mA),不能使LED点亮,而信号为“0”时(8mA)能使LED点亮,所以要用反相电路IC(74LS04)将来自微机的信号“1”反转为“0”。

·电路的说明.(参见图3)

① 电源电压(V_{CC}),使用与微机相同的电压5V;

② LED点亮的标准电压,随发光的颜色与种类的不同而不同,大约为2V左右。推荐的工作电流,也是随发光的颜色与种类的不同而不同,为10～20mA。用推荐值之外的工作电流,虽然也能点亮,若小于推荐值就会降低发光强度,大于推荐值则会发热;

③ 电路中的电阻,按以下方法求得:

设电源电压为5V,若LED上的电压为2V,则至少必须有5−2=3(V)的电压降加在电阻上。由于IC的关系,流过LED上的电流要在8mA以下,所以应当按下式来求电阻值:

$$R=\frac{3\text{V}}{0.008\text{A}}=375\Omega$$

因此,应使用市售的390Ω(1/4 W)电阻。

电路连接的路径为从电源到390Ω的电阻,从LED到反相电路输出端子,从IC输入端子到微机的输出端子。

Ⅱ　将程序输入微机，使 LED 点亮

将微机用于输入输出的 B 口作为输出口，并将管脚与图 3 中的 LED 电路连接(参见图 4)

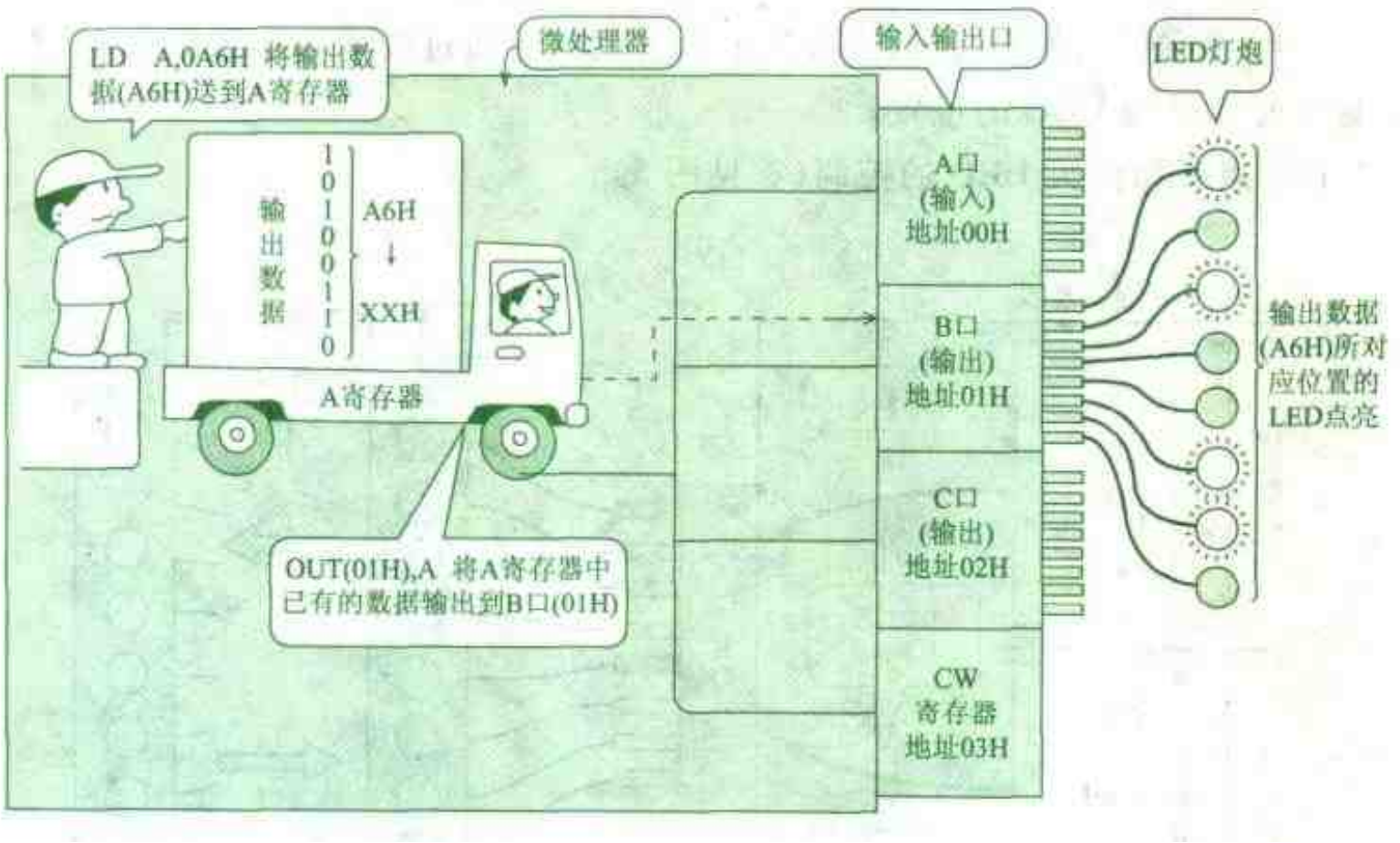


图 4　将A寄存器中的数据送到输出口

(1) 点亮不同的灯泡

<程序>

	助记符	操作数	操作地址	机器码
1	LD	A,90H	0000	3E 90
2	OUT	(03H),A	0002	D3 03
3	LD	A,XXH	0004	3E XX
4	OUT	(01H),A	0006	D3 01
5	HALT		0007	76

·说明·

第 1 行 将 A 口作为输入口，B 口、C 口作为输出口的操作数(CW＝控制字＝90H)输入 A 寄存器；

第 2 行 将 A 寄存器中的控制字送到 CW 寄存器暂存，03H 表示 CW 寄存器的地址码；

第 3 行 将输出数据(XXH)送入 A 寄存器，XXH 是用两位十六进制数，对应八个输出端子为“1”的位置；

第 4 行 将 A 寄存器中的数据输出到 B 口(地址码为 01H)；

第 5 行 程序结束。

＊ 数字后面的 H 表示该数为十六进制数。通过改变输出数据 XX，就可改变所要点亮的 LED 的位置。

(2) 点亮和熄灭 LED 的控制(参见图 5)

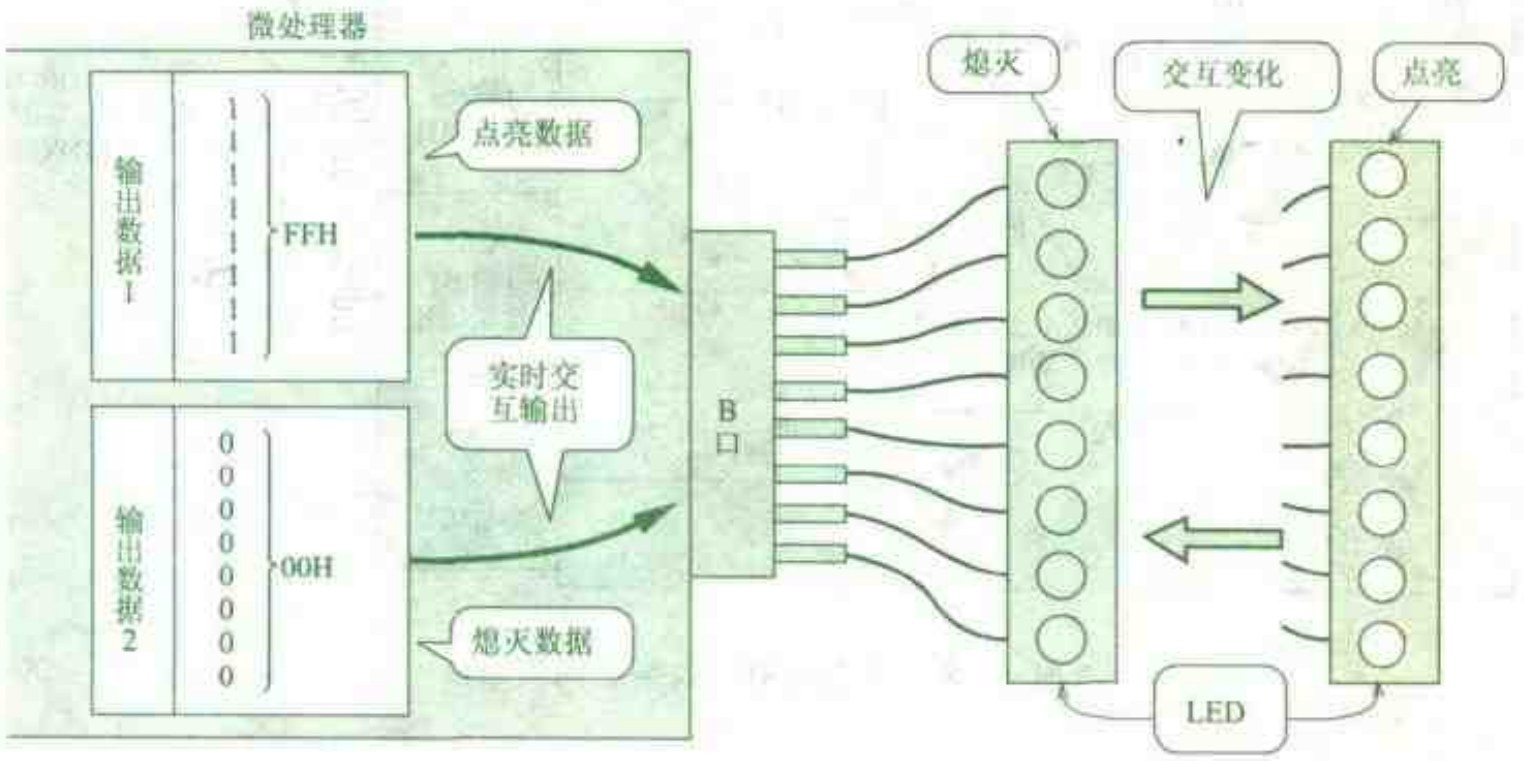


图 5　点亮和熄灭 LED 的组合

<程序>

	助记符	操作数	操作地址	机器码
1	LD	A,90H	0000	3E 90
2	OUT	(03H),A	0002	D3 03
3	LD	A,XXH	0004	3E XX
4	OUT	(01H),A	0006	D3 01
5	延时程序(子程序)			
6	LD	A,YYH	0009	3E YY
7	OUT	(01H),A	0011	D3 01
8	延时程序(子程序)			

9	JP	3	0011	C 30400
10	HALT		0015	76

·说明·

第 1、2、3、4 行　与(1)相同；

第 5、8 行　延时程序在一定的时间内，仍然保持指令的输出状态(将在后面说明)；

第 6、7 行　与第 3、4 行相同，只是输出数据的不同；

第 9 行　将程序跳回第 3 行的循环指令；

3、4 行与 6、7 行点亮和熄灭的时间是以微秒(即 10^{-6}s)为单位的。以微秒为单位的数据发生变化(LED 的点亮位置也起变化)，肉眼是看不见的。因此，在点亮与熄灭的程序中若不插入延时程序，在以微秒计的点亮与熄灭过程中，肉眼所看到的还是原来点亮的状态。以 1/100 秒点亮和熄灭的日光灯就可说明其中道理。

交通信号的控制，是以绿、黄、红的顺序来控制所需的点亮与熄灭时间的，要连接三组输出数据的程序(3、4 行与 6、7 行)，必须在中间插入相当于点亮时间的延时程序，然后再执行程序的循环。

点亮与熄灭的组合

① 全部点亮时的输出数据输出口的八位全部输出为“1”，所以用十六进制数是[FFH]；

② 全部熄灭时的输出数据输出口的八位全部输出为“0”，所以用十六进制数是[00H]；

③ 将[FFH]与[00H]交互输出，就可以使全部 LED 反复地点亮和熄灭。

将[FFH]与[00H]输入到上述(2)所列程序的输出数据[XXH]与[YYH]处。

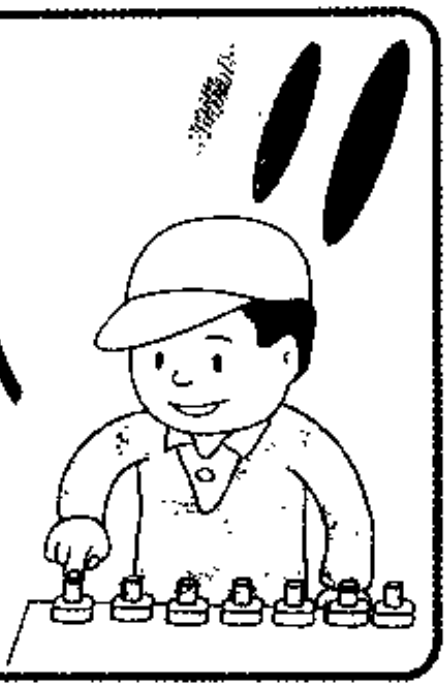
练习题

1. 在图 3 的 LED 点亮电路中，为什么要用反相电路？
2. 在(2)的程序中，要使输出端子的第 0、2、4、6 位的 LED 点亮，其输出数据应当是多少？

解答

1. ①电流放大；②在一般的 IC 中，用“0”能处理的输出电流要比用“1”的大，所以要使用反相电路 IC 来将微机输出的信号“1”反转为“0”。
2. 55H。

6 微机控制(2)——用按钮开关来输入



在微机输入[1]中，考虑使用按钮开关，是因为按钮开关的动作与作为输入设备的限位开关等机械接点是相似的，即动作就闭合(ON)，不动作就断开(OFF)。

I　将按钮开关连接到微机上

如图 1 所示，将按钮开关连接到输入口的各个端子上(见照片 1)。

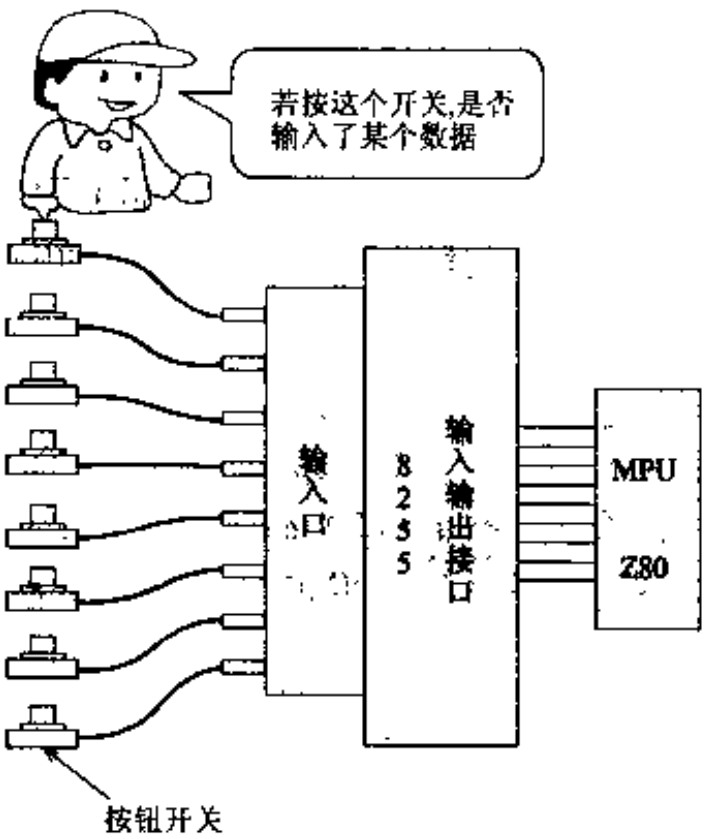
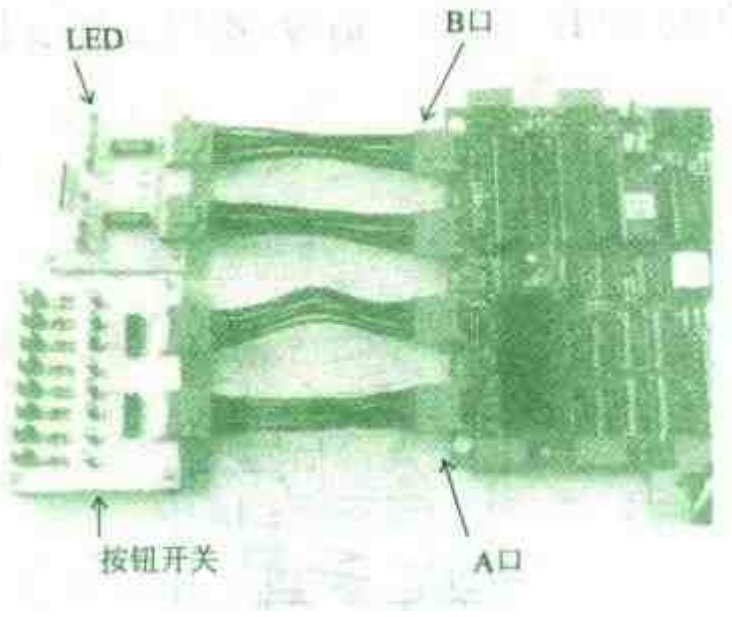


图 1　配置按钮开关的微机

1)　原文误为输出　——译者注



照片 1　LED 与开关连接的例子

输入信号的电气条件(用 8255 作为输入输出口时)：

输入信号“1”：　　电压 2～5V

(High,高电平)　　电流 ±10μA

输入信号“0”：　　电压 −0.5～0.8V

(Low,低电平)　　电流 ±10μA

($1\mu A = 10^{-6} A$)

电流±10μA,几乎等于没有电流,只要施加 2～5V 或−0.5～0.8V 的电压就可以工作了。

将按钮连接到微机上时,一定要用带弹簧的自复位按钮,即松开手,接点就断开的按钮。由于弹簧的作用,在按钮按下与松开的 10～100ms 时间内,其接点会有时通时断的反复 ON/OFF“抖动”(参见图 2)。

由于微机是以微秒(10^{-6}s)为单位来运行的,反复通断的噪声也会被当作信号输入微机而造成干扰,所以必须消除抖动。抖动的时间间隔因按钮型号的不同而有所不同。为了消除抖动的影响,使用如图 3 所示的积分电路与施密特触发电路(IC)。这种消除了抖动的电路,可以将按钮开关接到微机上。

·电路说明·

① 积分电路中,由于电容器在达到饱和之前的充电吸收,从而将抖动部分变成了平滑的曲线。在饱和之前,根据电容器的电容 C 与电阻 R_1 的值来决定。因抖动时间是 10～100 ms,所以只要饱和时间大于这一抖动时间,就可确定电容 C 与电阻 R_1 的值。

② 施密特触发电路的作用是,将这一平滑的波形变换为方波输入到微机,并且,由图 3 电路可知,按下按钮开关,就有低电平(Low;“0”)输入到 IC 中。

由于微机要求输入高电平(High:"1")信号,所以要用有反相功能的施密特触发电路 IC。

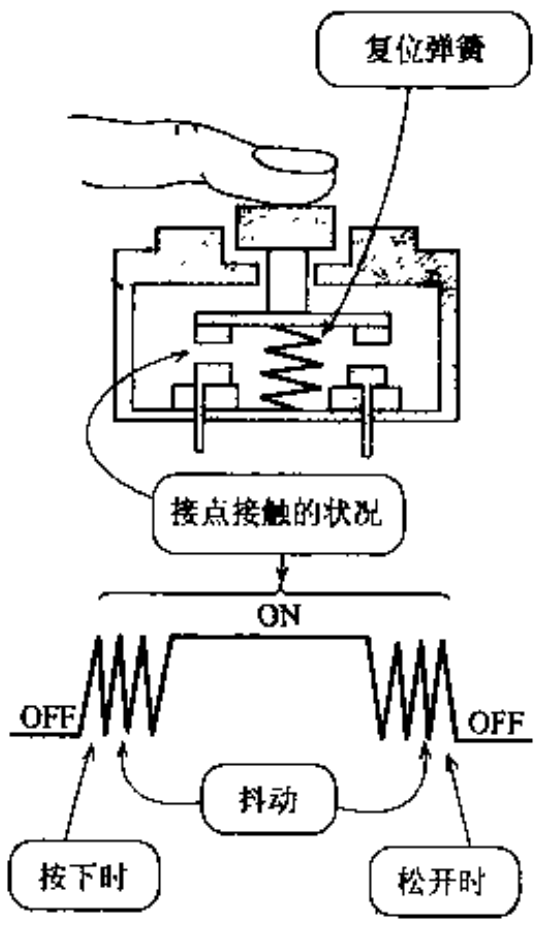


图 2　接点的抖动

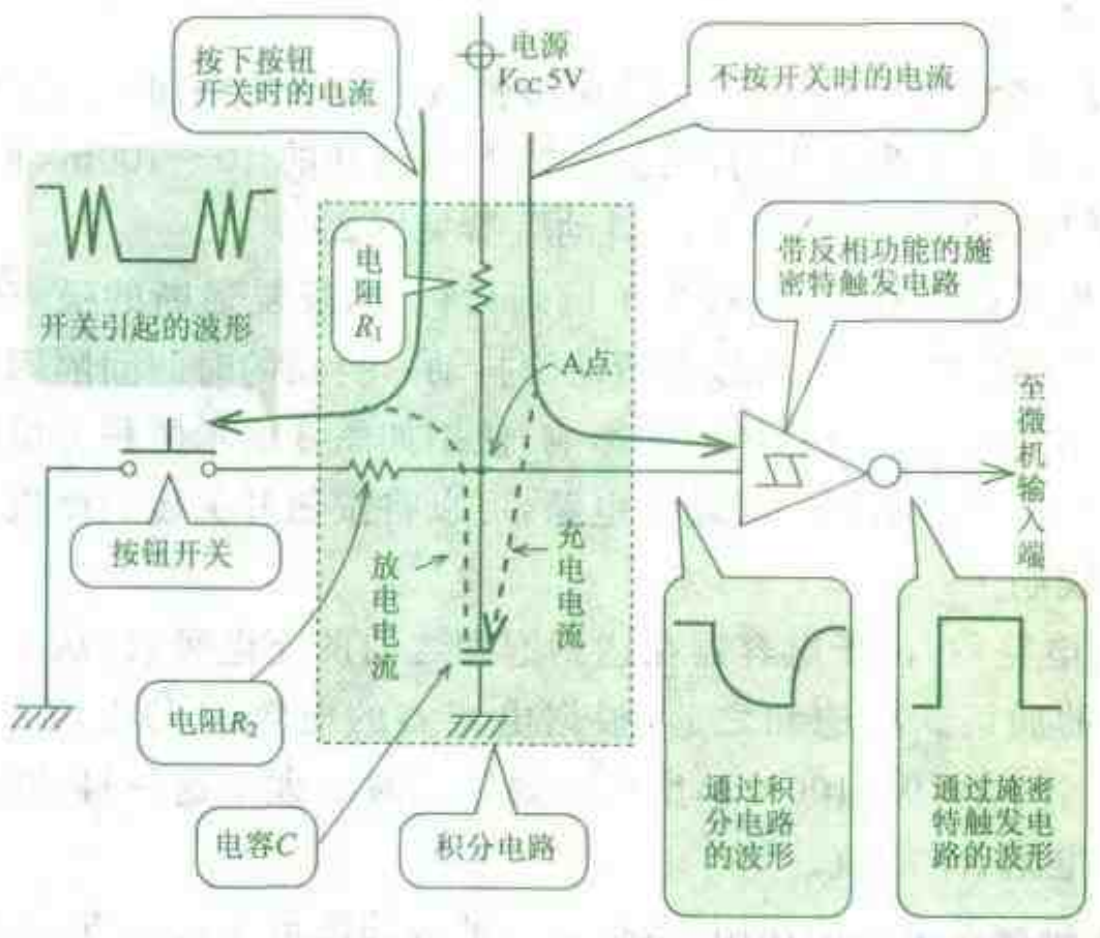


图 3　按钮开关的电路例子

·电容、电阻的计算·

电容器的电容 C 与电阻 R_1 之乘积称为时间常数，此值约等于电容器充电饱和时间的 70%，只要使这个时间常数大于抖动的时间就可以了。

① 设时间常数为 50ms(0.05s)；

② 电阻 R_1 的值应当是，在未按下按钮开关时，施加在施密特触发电路 IC (74LS04) 上的电压信号为“1”(2.7～5V)。此时的最大电流为 20μA，电阻 R_1 为：

$$R_1<\frac{5\text{V}-2.7\text{V}}{0.000\ 02\text{A}}=115\ 000\Omega=115\text{k}\Omega$$

当 $R_1<115\text{k}\Omega$ 时，IC 就能接收信号“1”的输入，考虑到与时间常数的关系，现设 $R_1=4.7\text{k}\Omega$；

③ 电容 C 等于时间常数除以电阻 R_1 所得的值

$$C=\frac{0.05\text{s}}{4\ 700\Omega}=0.000\ 01\text{F}-10\mu\text{F}$$

④ 电容器的放电时间由电阻 R_2 来决定，电阻 R_2 的值，应当能让 IC 在 A 点处接收信号“0”的输入电压(0.4V 以下)，电源电压 V_{CC} 5V，A 点的电压与电阻 R_1、R_2 的关系为：

$$V_{CC}/V_A=(R_1+R_2)/R_2$$
$$V_{CC}\cdot R_2=(R_1+R_2)\cdot V_A$$
$$R_2\cdot(V_{CC}-V_A)=V_A\cdot R_1$$
$$R_2=\frac{V_A\cdot R_1}{V_{CC}-V_A}=\frac{0.4\times 4\ 700}{5-0.4}=408.7(\Omega)$$

由于 A 点的电压为 0.4V 时，电阻 R_2 是 408.7Ω，所以 A 点的电压为 0.4V 以下时，电阻 R_2 也应小于 408.7Ω。考虑到与时间常数的关系，R_2 使用近似值 330Ω 比较合适。

这样，施密特触发电路 IC 与微机输入口的电气连接就没有问题了。

Ⅱ　微机输入输出关系的探讨

如图 4 所示，在微机的输入口(A 口)上连接按钮开关，在输出口(B 口)上连接 LED，下面探讨输入输出的关系。

·动作 1·(参见图 4 及流程图)

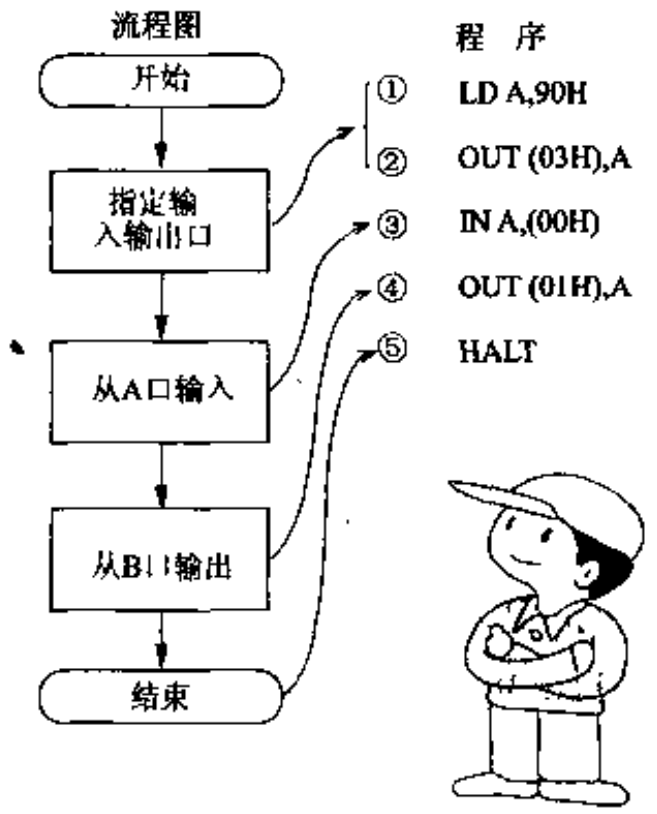
按下按钮开关，使同一位的 LED 点亮。

·程序说明·

① 设 A 口为输入口，B 口为输出口，将 CW 寄存器所需的数据(CW＝控制字＝90H)输入到 A 寄存器；

② 将 A 寄存器中的数据存放到 CW 寄存器(地址 03H)中；

③ 将 A 口(地址 00H)的输入数据输入到 A 寄存器；



流程图

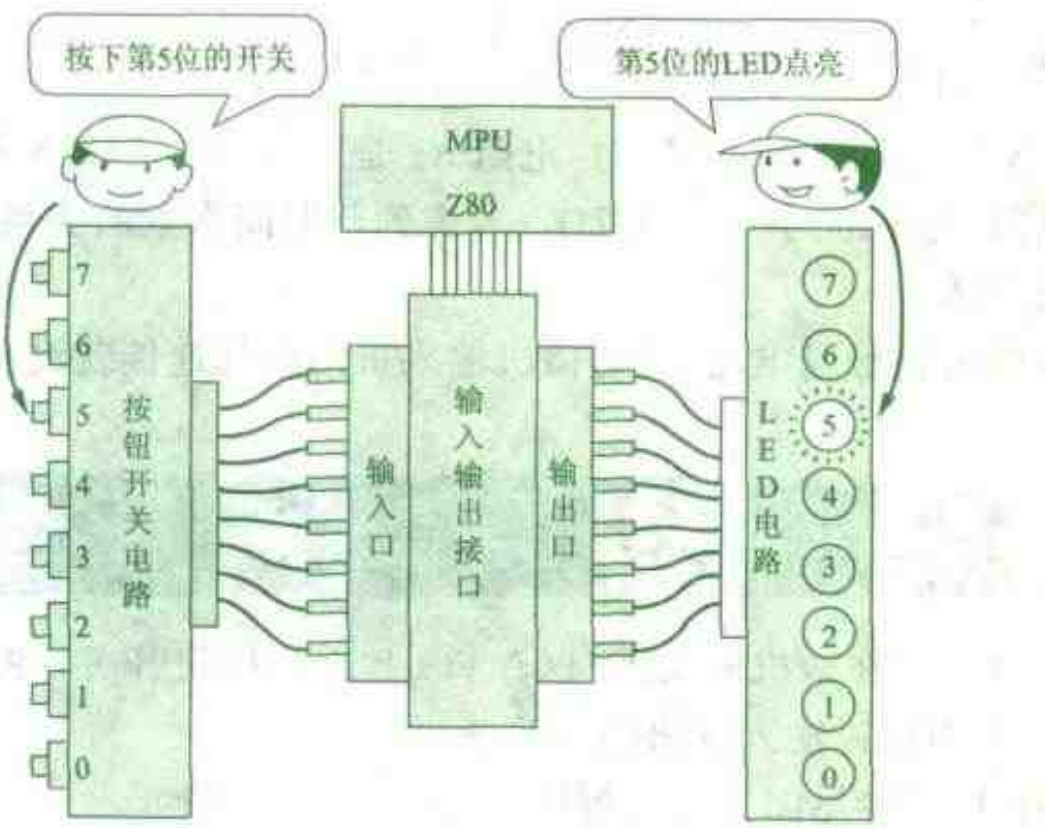
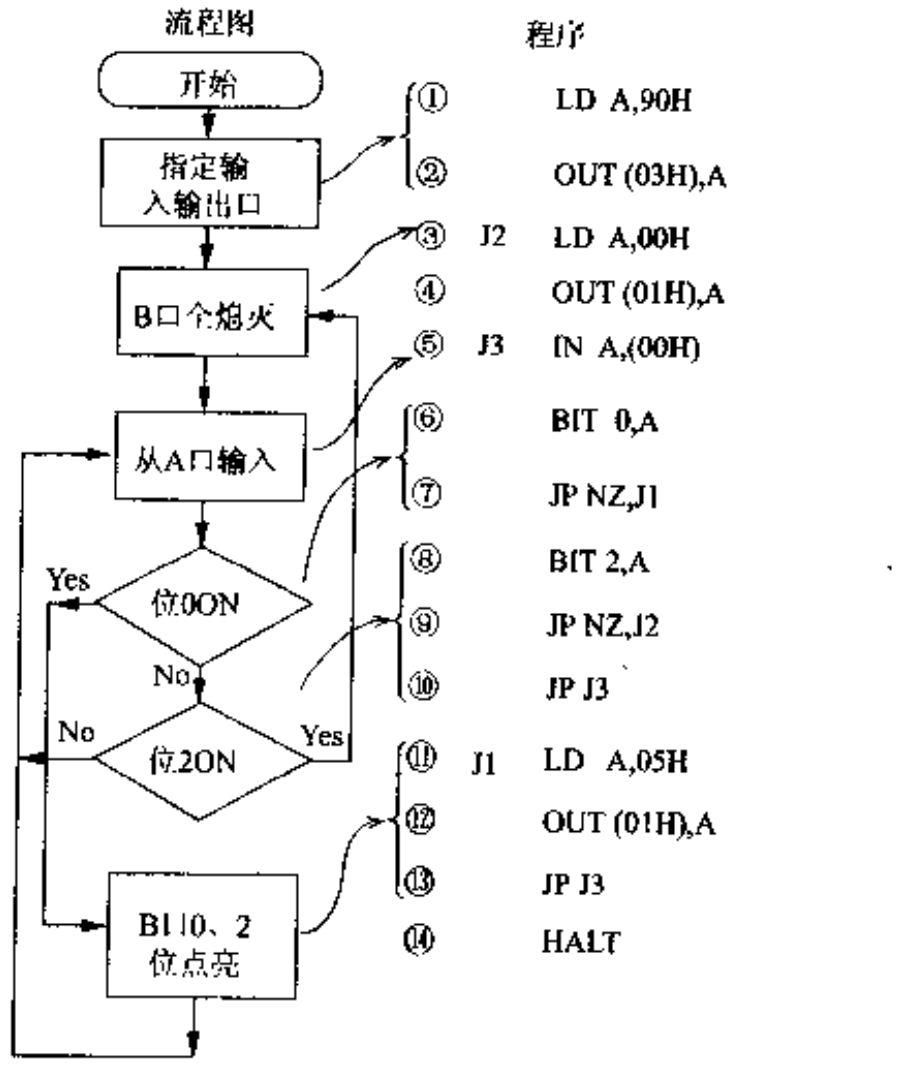


图 4 动作 1 的开关与 LED 的连接

④ 将 A 寄存器中的数据输出到 B Ⅱ(地址 01H)；

⑤ 程序结束。

·动作 2·(参见图 5 与流程图)



流程图

① 按下 A 口第 0 位上所接的按钮开关，B 口上第 0 位与第 2 位对应的 LED 点亮；

② 按下 A Ⅱ第 2 位上所接的按钮开关，B 口上的 LED 全部熄灭。

·输入输出数据·(参见图 6)

·按下第 0 位按钮开关时的数据为 01H；

·按下第 2 位按钮开关时的数据为 04H；

·第 0 位与第 2 位的 LED 点亮数据为 05H；

·全部 LED 熄灭的数据为 00H。

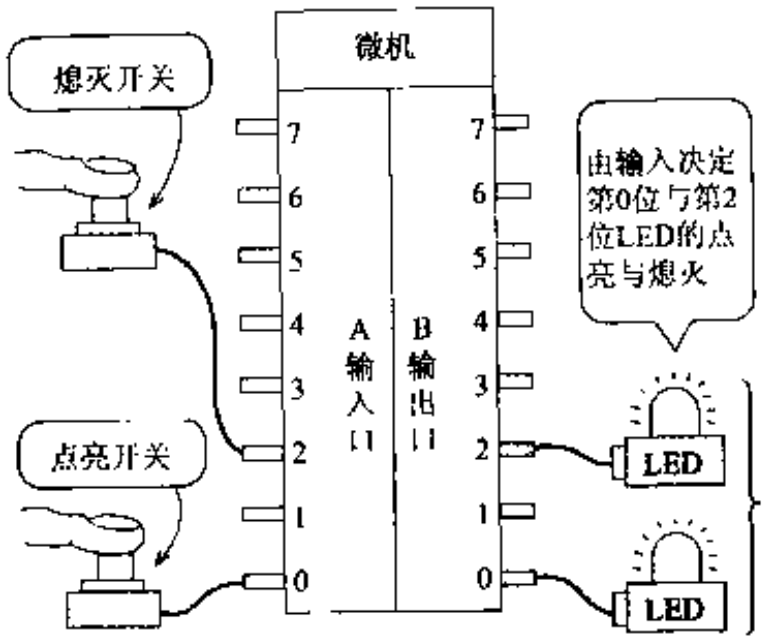


图 5　动作 2 的开关与 LED

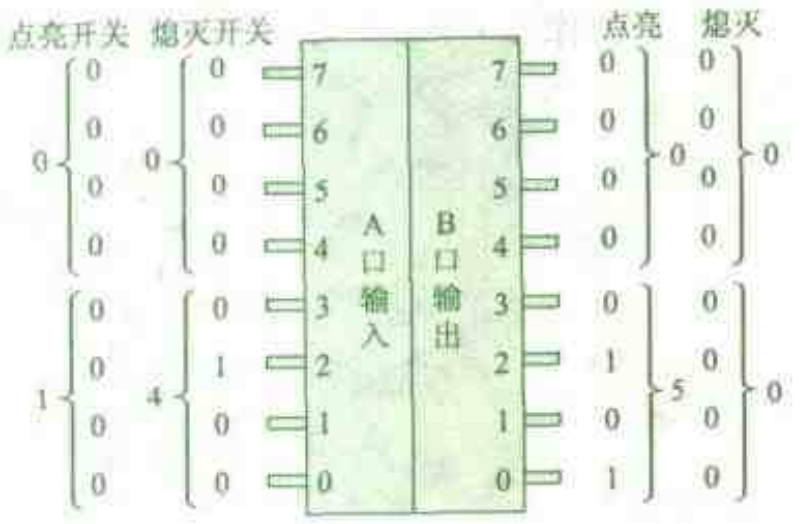


图 6　动作 2 的输入输出数据

·程序说明·

①与② 设定 A 为输入口，B、C 为输出口，并将设定的数据存放到 CW 寄存器中；

③与④ 从 B 口(地址 01H)输出 00H(全部 LED 熄灭)；

⑤ 将 A 口(地址 00H)的数据输入到 A 寄存器中；

⑥与⑦ 判断 A 寄存器中的第 0 位数据是“1”还是“0”(使 LED 点亮的开关是否按下)，是“1”则转到⑪；

⑧⑨⑩ 判断 A 寄存器中的第 2 位数据是“1”还是“0”(使 LED 熄灭的开关是否按下)，是“1”则到③，是“0”则转到⑤；

⑪与⑫ 从 B 口(地址 01H)输出 05H；

⑬ 转到⑤(全部 LED 熄灭)；

⑭ 程序结束。

练习题

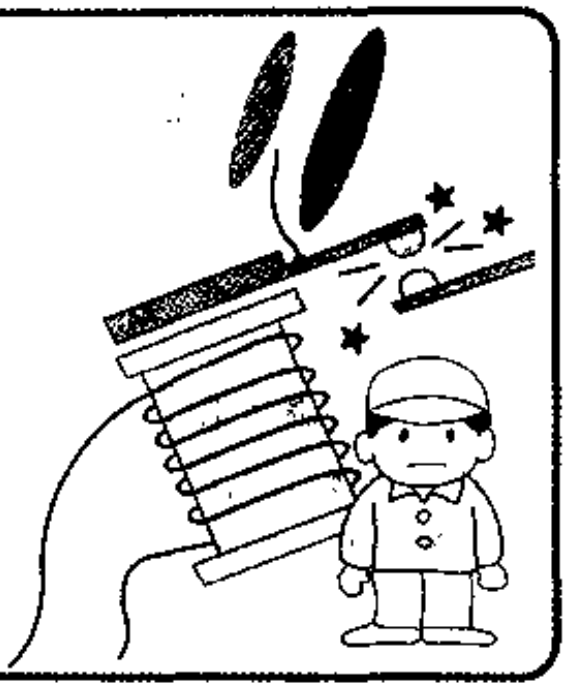
1. 为什么要在按钮开关电路中加入电容与电阻的积分电路？
2. 只想知道某个寄存器的任意位数据是“1”还是“0”，应当用什么命令？

解答

1. 为了消除在按动按钮开关时接点所产生的抖动。
2. 用 BIT 命令，(BIT 0，A)。

位　寄存器名称

7 微机控制(3)——使用继电器



1 使用微机控制接点通断

驱动系统的动力源大多采用电气式，虽然也有少量是以液压或气动为动力，但是液压或气动的方向控制所用的元件，还是电力驱动的电磁阀。所以，把机械的控制称为电气控制(参见图 1)。

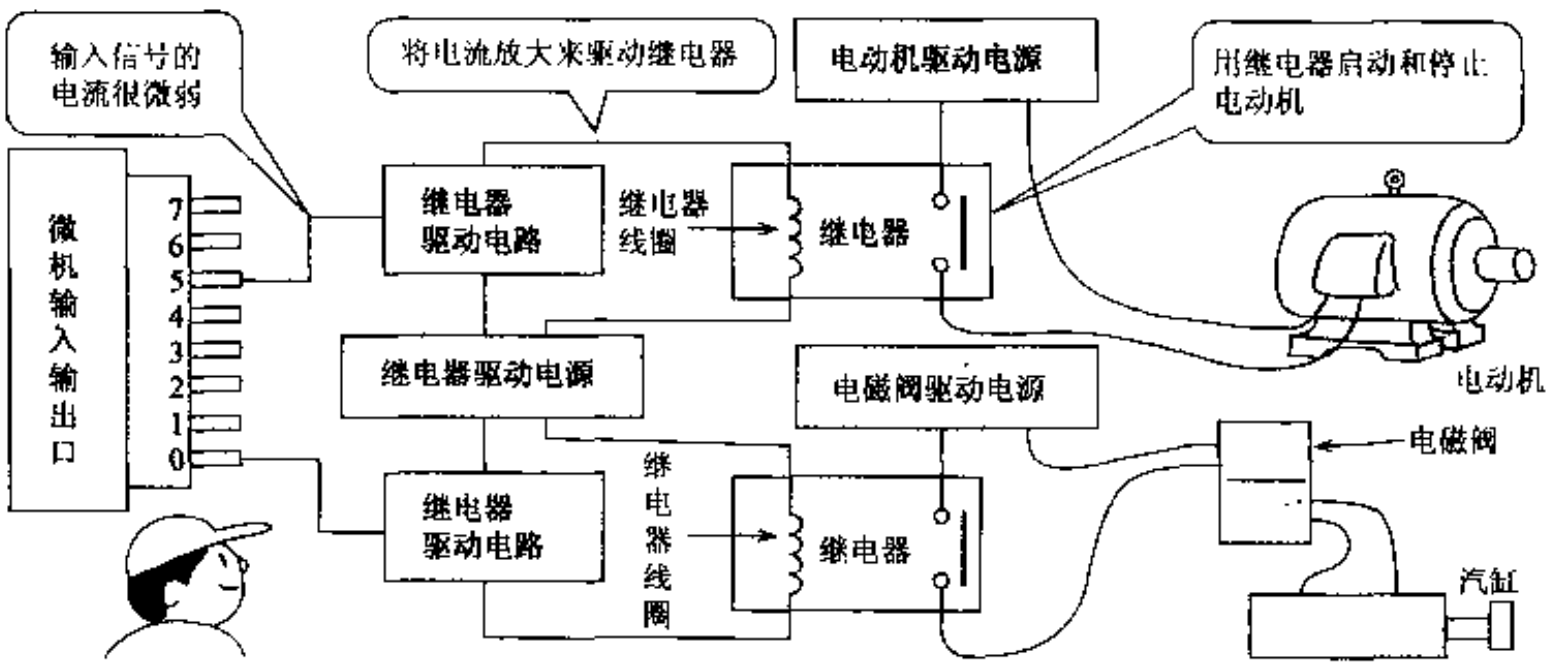


图 1　使用继电器的例子

电气控制的动作之一是接通或切断电流，手动控制时，用电路中的开关等接点来接通与切断电流；用计算机信号来控制电路的接通与切断，必须采用由

电信号来控制的继电器，用继电器的接点来接通与切断电流。继电器有两大类，一类是带有机械接点的有接点继电器，另一类是用逻辑电路的无接点继电器。

1　有接点继电器

有接点继电器是靠电磁线圈中流过电流来使接点动作的，在用微机控制时，微机的输出信号很微弱，不能直接驱动继电器线圈，需放大微机的输出信号。在介绍这种驱动电路之前，先要了解一下继电器的电气规格。选择继电器的要求是继电器接点的负荷参数与它的驱动电源等。一旦选定了继电器，也就确定了继电器线圈的电气参数(功耗)等规格(参见图 2)。

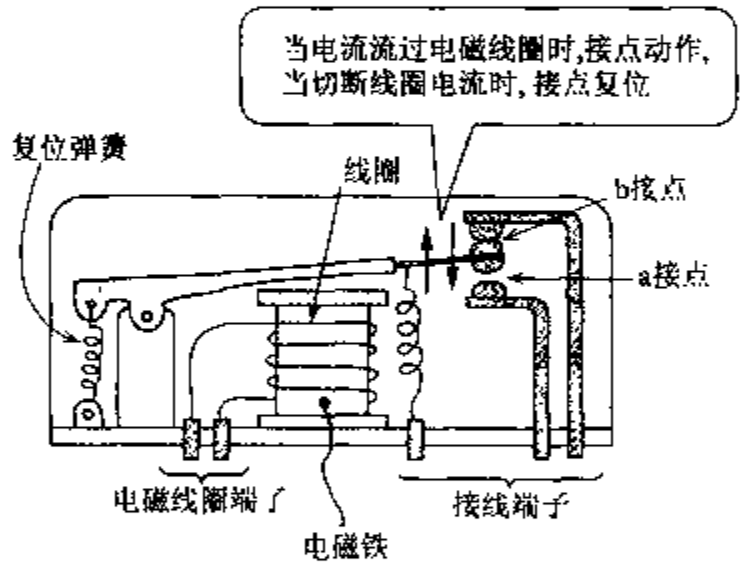


图 2　继电器结构

例如，通断功耗为 2W(交流 100V、0.02A)的电磁阀。可选用控制用小型继电器 G2VN(欧姆龙公司)，其规格如下：

·额定规格·

① 接点

额定负荷

电阻负荷　交流 110V 0.3A

感应负荷　交流 110V 0.2A

② 线圈

额定电压与额定电流的全部参数

直流	3V	120mA
	5V	72mA
	12V	30mA
	24V	15mA

电磁阀的动作是用螺线管来驱动的，螺线管是感应负荷，该继电器的接点额定电流为 0.2A，是电磁阀螺线管工作电流的 10 倍。即使启动电流过大，继电器接点也能承受。

Ⅲ　继电器的驱动电路

用 5V 的电源来驱动继电器，继电器线圈的电流为 72mA，而微机输出信号为“1”时的电流为 0.2mA(相同的输入输出接口，由于制造上的不同，也会有些差异)，所以必须用驱动电路来放大到 72mA 以上，才能直接驱动继电器。现采用晶体管放大电路作为驱动电路(参见图 3)。

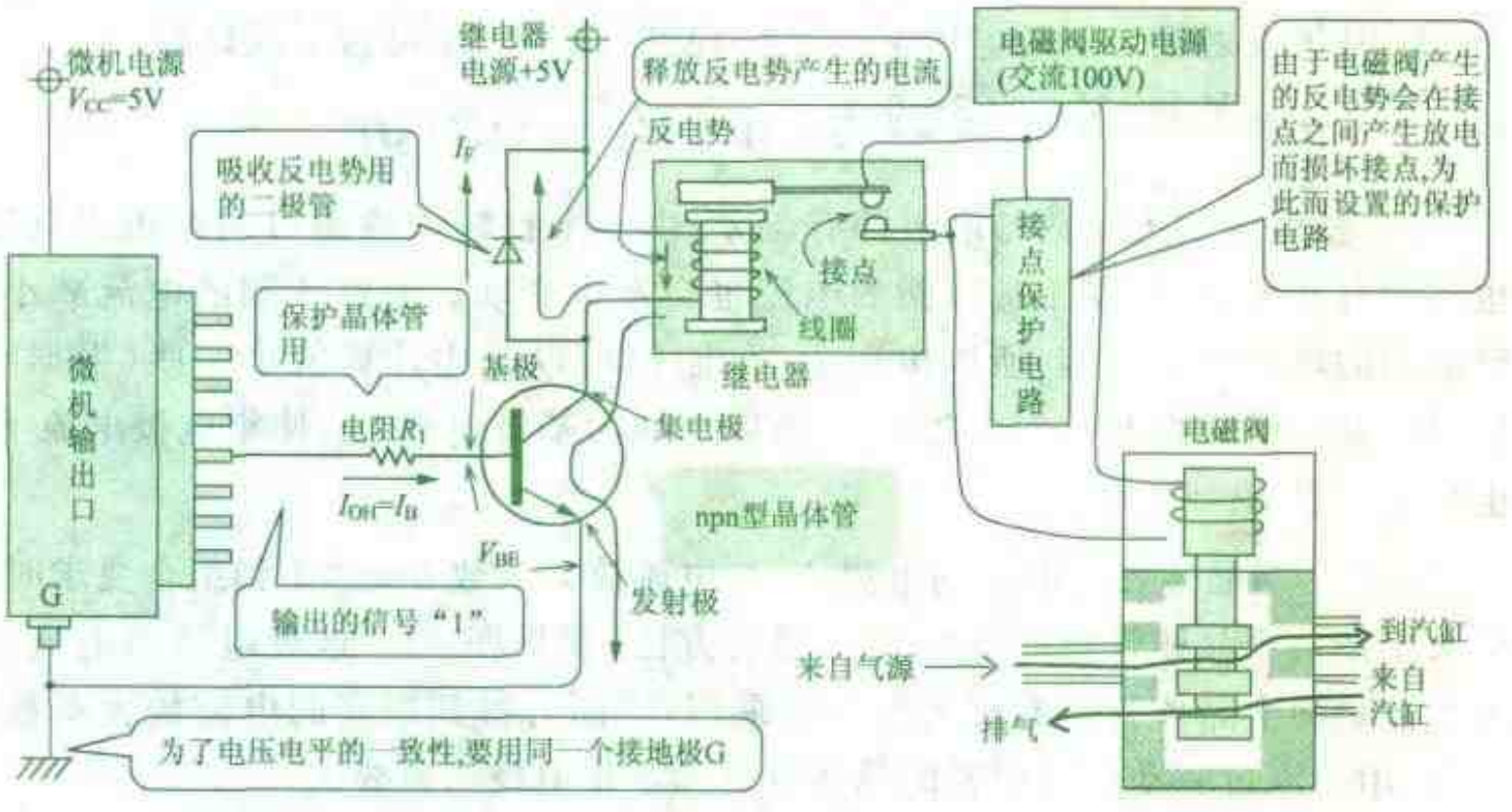


图 3　继电器驱动电路

·电路说明·

① 将继电器线圈接到电源的正极与晶体管的集电极之间；

② 将继电器的电流突然切断，其反电势产生的电压很高，可能会烧坏晶体管与线圈，因此用二极管与线圈并联，来吸收由反电势产生的电流。二极管的

规格为正向电流 I_F 应当大于线圈的额定电流(72mA),反向电压 V_R 应当选择电源电压(5V)的3倍以上;

③晶体管的基极上输入来自微机的信号为"1"时的电流(0.2mA)就是基极电流 I_B。

要驱动继电器,必须把流过晶体管集电极的电流 I_C 放大到大于线圈的额定电流(72mA)。晶体管电流放大系数 h_{FE} 可按下式计算:

$$h_{FE} \geqslant \frac{I_C}{I_B} = \frac{72\text{mA}}{0.2\text{mA}} = 360$$

所以所选用的晶体管的电流放大倍数应大于360倍,集电极电流应大于72mA,基极电流应在0.2mA以上。

可选用型号为"2SC1815BL(东芝)"的晶体管,其规格如下:

额定集电极电流 150mA

额定基极电流 50 mA

电流放大系数 350～700。

④ 电阻 R_1 的作用是保护晶体管,以防止其基极电流 I_B 过大。当来自输入输出口的信号为"1"时,其基极电流 I_B 为0.2mA(0.000 2A),电源电压 V_{cc} 为5V,基极发射极之间的电压 V_{BE} 为0.7V时,电阻 R_1 可按下式计算:

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 - 0.7}{0.000\ 2} = 21\ 500(\Omega) = 21.5(\text{k}\Omega)$$

但是,电流放大系数与电阻都有偏差,由于来自输入输出口的电压或电流也多少有些变动,所以流过线圈的电流也会产生变动。流过线圈的电流减小,继电器的动作受到影响,所以电阻 R_1 的阻值可以取比计算值小一些(根据经验,R_1 为计算值的1～1/10之间)。所以要加大基极电流 I_B,使集电极电流 I_C 也加大。设 $R_1 = 6.8\text{k}\Omega$。

* 当晶体管集电极的电流 I_C 与电流放大系数 h_{FE} 达不到组合要求时,可采用把两个晶体管电路连接在一起的方法(参见图4)。这种电路的电流放大系数是两个晶体管电流放大系数的乘积,因而可得到很高的电流放大系数。同时,用在流过驱动电流位置的晶体管的额定集电极电流要大。

Ⅳ 接点保护电路

当继电器的接点切断电动机或电磁阀等感应负荷电流时,反电势产生的电压过高,会引起接点之间的电弧放电或造成接点的损坏。电弧放电所产生的干扰会影响到微机控制电路,这是产生误动作的主要原因。为了防止接点之间产

生电弧，必须采用接点保护电路。

图 5 是使用电阻与电容构成的接点保护电路。

C 与 R 选用的标准为

C：接点电流为 1A 时，用 0.5～1μF（C 可起到接点切断时抑制放电的作用）。

R：接点电压为 1V 时，用 0.5～1Ω（R 可起到接点闭合时限制电流的作用）。

C、R 的阻抗应当取相对于负荷来说为足够大的值（交流电路中电阻、电感线圈、电容所产生的总阻抗）。另一种接点保护电路是，根据电压采用可变电阻器，这里不作介绍。

必须充分注意反电势造成的对控制系统的不良影响。所介绍的数值是否作为最终的标准，要用实验来证实；因为交流与直流有所不同，也需要特别注意。

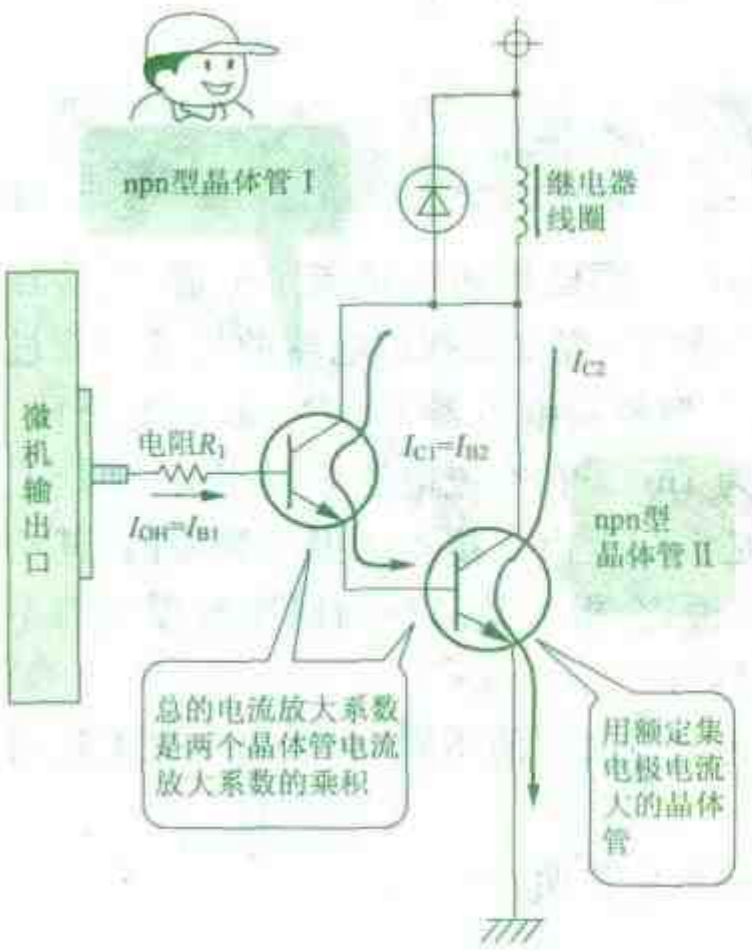


图 4　使用两个晶体管放大电流

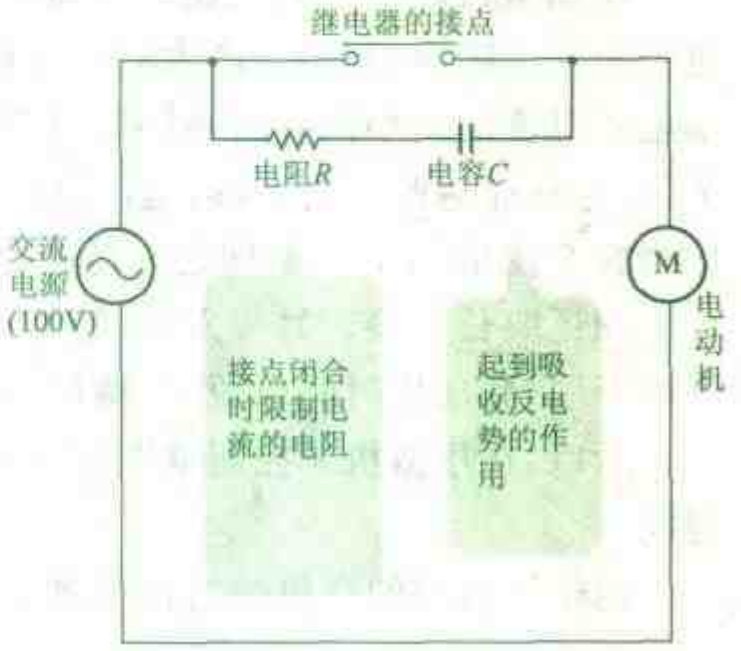


图 5　接点保护电路的例子

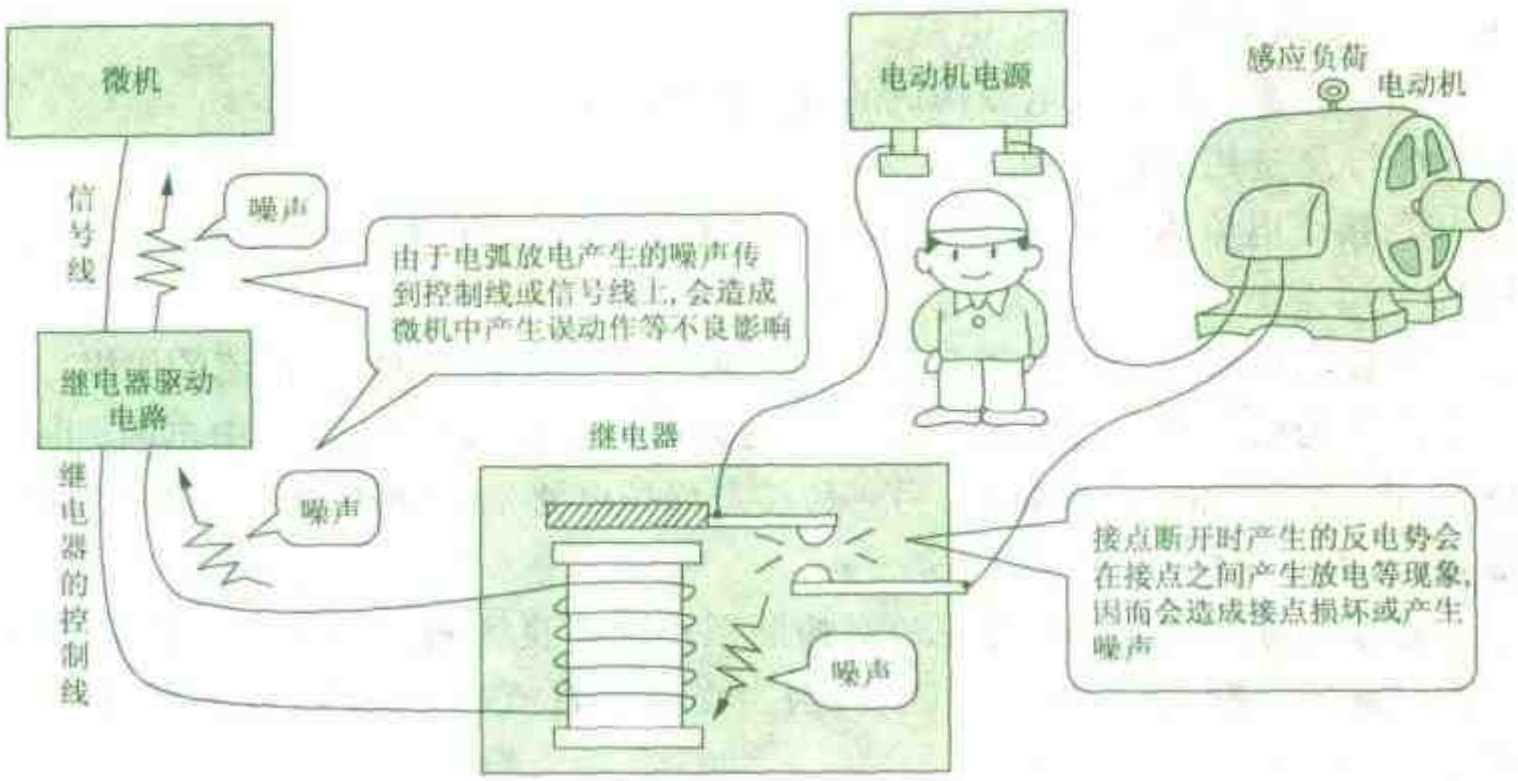


图 6　由于感应负荷产生的接点之间的放电

V　微机与继电器动作时间的差异

在用微机来驱动有接点继电器时，即使线圈已接通或切断了电流，其接点也不能立即响应，而是会产生滞后现象。滞后的程度根据继电器的构造与流过继电器电流的大小而有所不同。以直流小型控制继电器 G2VN(欧姆龙公司)为例，其动作时间约为 5ms，返回时间约为 1ms。在交流电路中使用时，理论上应当在交流电的 1/2 周期之内动作，但是实际上由于接点的振动等原因，其动作时间还要长一些。另一方面，对微机来说，会根据其时钟的周期与程序的不同而不同，其动作时间极短，以微秒(10^{-6}s)计。

所以，在用微机来控制继电器时，因为响应时间的不同，必须用程序来控制时间。

用于继电器的微机控制程序将在下一节中说明。

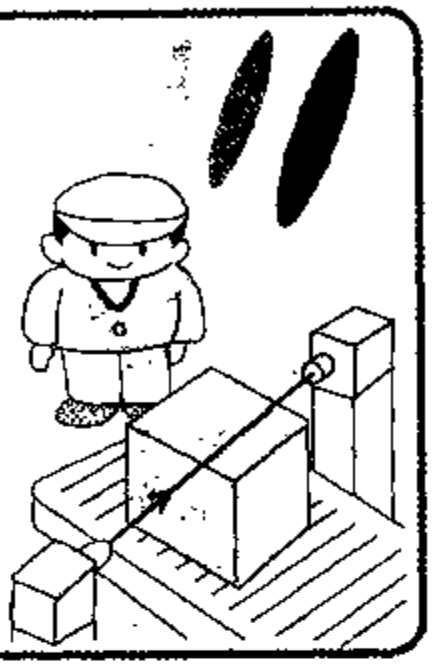
练习题

1. 用来自微机的输出信号能直接驱动继电器吗？
2. 用继电器接点来启动、停止电动机时，在继电器的接点使用上应注意什么问题？

解答

1. 因来自微机的输出信号电流很微弱，不能直接驱动继电器。
2. 在启动、停止电动机时，由于电动机产生的反电势会造成接点之间的电弧放电，应注意防止。

8 微机控制(4)——简单控制



1 简单控制装置

图 1 是一个简单控制装置，当传送带上所传送的物品超过一定高度时，此装置就能放下挡板，制止物品的输送。

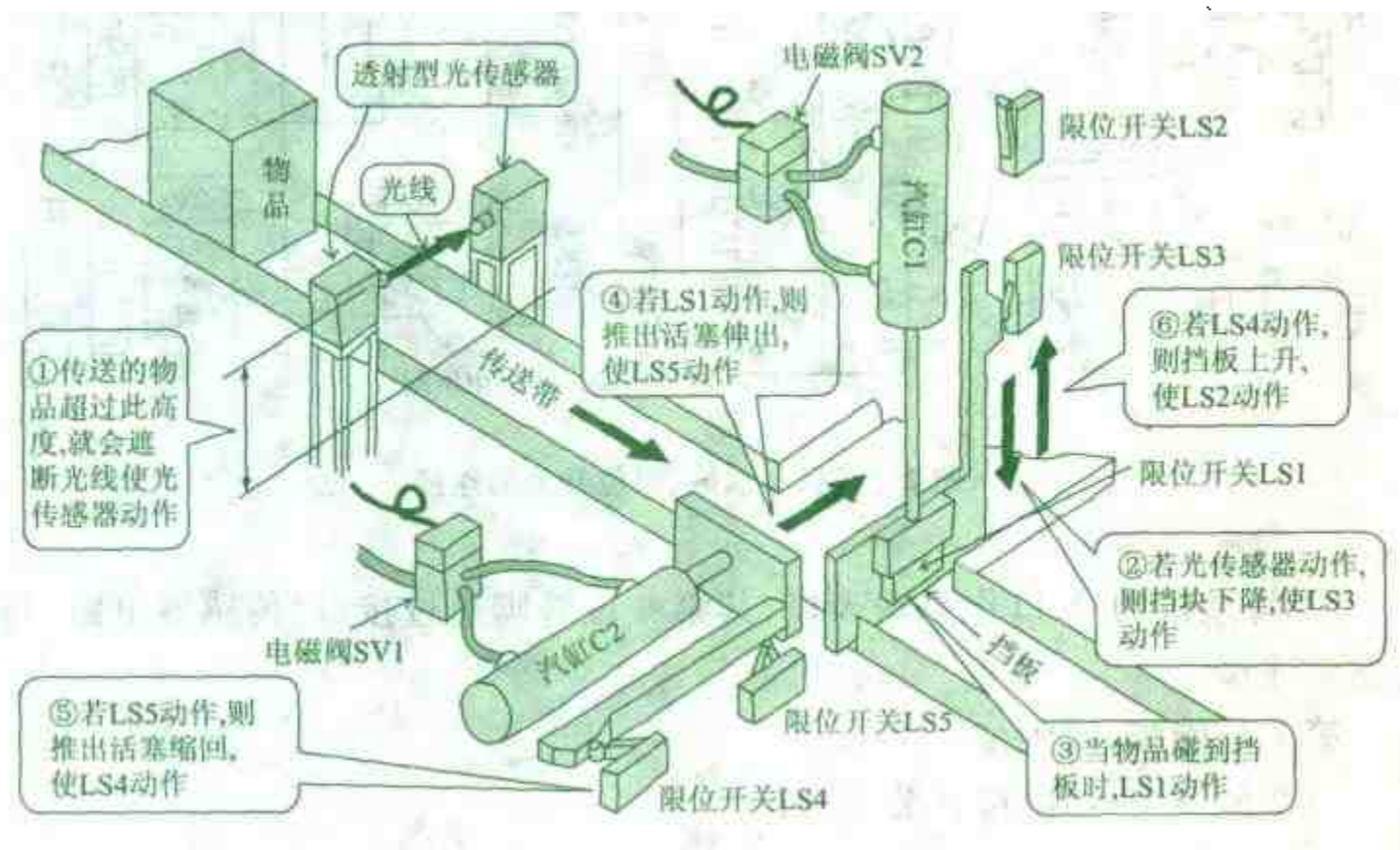


图 1　物品高度的选择、控制装置

·动作说明·

① 传送带上安装固定高度的透射型光传感器，当传送的物品遮断光传感器时，汽缸 C1 的活塞伸出，将挡板设置在传送带上，并使限位开关 LS3 动作；

② 物品被挡板挡住，则装在挡板上的限位开关 LS1 动作；

③ 限位开关 LS1 动作，则汽缸 C2 的活塞伸出，将物品推离传送带，同时使限位开关 LS5 动作；

④ 限位开关 LS5 动作，则汽缸 C1 与汽缸 C2 的活塞复位，并使限位开关 LS2 与 LS4 动作；

⑤ 等待光传感器的下一次动作。

2.3 微机与汽缸、限位开关的连接

如图 2 所示，通过接口将汽缸、限位开关与光传感器连接到微机的 A 口与 B 口上。

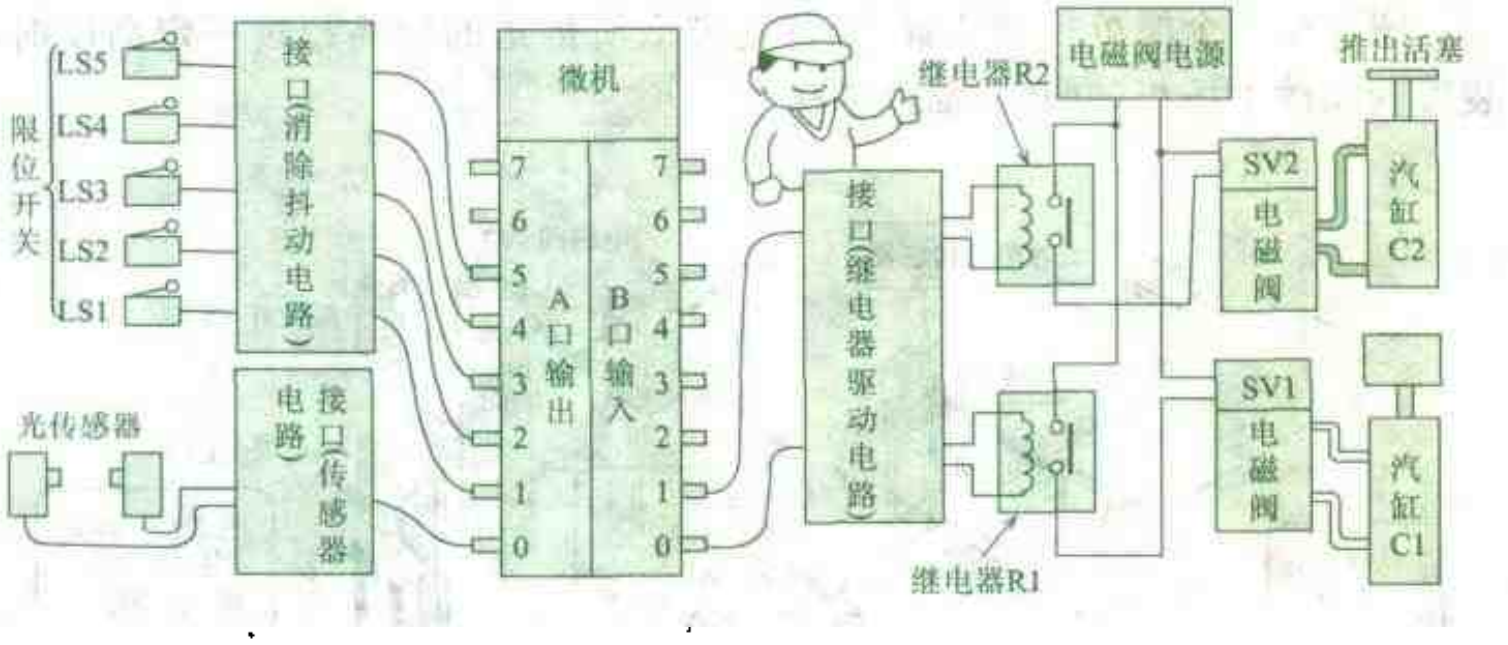


图 2　微机与汽缸、限位开关的连接

① 将微机的 A 口作为输入口，其第 0 位管脚通过接口(传感器电路)与光传感器连接。

第 1 位管脚，接限位开关 LS1；

第 2 位管脚，接限位开关 LS2；

第 3 位管脚，接限位开关 LS3；

第 4 位管脚，接限位开关 LS4；

第 5 位管脚，接限位开关 LS5。

以上都是通过接口(消除抖动电路)来连接的。

② 将微机的 B 口作为输出口,其第 0 位管脚通过继电器驱动电路接到继电器 R1 的线圈上,将 R1 的接点通过驱动汽缸 C1 的电磁阀 SV1 线圈与电源(交流 100V)连接。其第 1 位管脚以同样方式接到继电器 R2、汽缸 C2、电磁阀 SV2 上。

Ⅲ 输入输出口的指定与输入输出的数据

① 输入输出口的指定

A 口(地址码为 00H)　输入口

B 口(地址码为 01H)　输出口

C 口(地址码为 02H)　输出口

CW(控制字,地址码为 03H)= 90H

② 输入的数据

在各种状态中,来自限位开关的输入数据如表 1 所示,传感器为光传感器,LS 为限位开关。

③ 输出的数据

操作汽缸 C1 与 C2 用的输出数据如表 2 所示。

表 1　A 口的输入数据

装置状态	第 7~6 位	LS5 第 5 位	LS4 第 4 位	LS3 第 3 位	LS2 第 2 位	LS1 第 1 位	LS0 第 0 位	输入数据
初始状态,推出活塞退回,挡板收起	00	0	1	0	1	0	0	14H
光传感器动作	00	0	1	0	1	0	1	15H
挡板设置,汽缸 C1 的活塞伸出	00	0	1	1	0	0	0	18H
物品碰到挡板	00	0	1	1	0	1	0	1AH
挡板设置(两汽缸的活塞伸出)	00	1	0	1	0	0	0	28H

表 2　B 口的输出数据

输出状态	第 7～2 位	推出，第 1 位	挡板，第 0 位	输出数据
初始状态，两汽缸的活塞退回	000000	0	0	00H
挡板下降，汽缸 C1 的活塞伸出	000000	0	1	01H
物品推出，挡板下降，两汽缸的活塞伸出	000000	1	1	03H

编制程序

① 程序的设计

这是一个根据输入数据来改变输出数据的控制程序。有两种实现控制的方法：其一是将实际输入数据与表 1 所设定的输入数据进行比较，来决定输出数据；另一种是依次检查连接在输入口各位上的限位开关等数据是“1”还是“0”，从而决定输出数据（参见表 3）。

表 3　程序

序号	标记	指令	操作数	地址	机器码
1		LD	A,90H	0000	3 E 90
2		OUT	(03 H),A	0002	D 3 03
3		LD	B,15 H	0004	06 15
4		LD	C,1 AH	0006	0 E 1 A
5		LD	D,28 H	0008	16 28
6	OUT	LD	A,00 H	000 A	3 E 00
7		OUT	(01 H),A	000 C	D 3 01
8	IN 1	IN	A,(00 H)	000 E	DB 00
9		CP	B	0010	B 8
10		JP	NZ,IN 1	0011	C 2 0 E 00
11		LD	A,01 H	0014	3 E 01
12		OUT	(01 H),A	0016	D 3 01
13	IN 2	IN	A,(00 H)	0018	DB 00
14		CP	C	001 A	B 9
15		JP	NZ,IN 2	001 B	C 2 18 00
16		LD	A,03 H	001 E	3 E 03
17		OUT	(01 H),A	0020	D 3 01
18	IN 3	IN	A,(00 H)	0022	DB 00
19		CP	D	0024	BA
20		JP	NZ,IN 3	0025	C 2 22 00
21		JP	OUT	0028	C 3 0 A 00
22		HALT		002 B	76

② 流程图

为了便于理解控制流程，画出流程图如图 3 所示。

③ 程序说明

第 1、2 行　将 CW(控制字寄存器)所需的数据送入 A 寄存器，再输出到 I/O(输入/输出)口的 CW 寄存器中(指定各输入输出口)；

第 3、4、5 行　将各状态时的输入数据送入 B、C、D 寄存器；

· B 寄存器：光传感器的动作状态

· C 寄存器：阻挡物品用挡板的动作状态

· D 寄存器：物品推出传送带的动作状态

第 6、7 行　输出初始状态(两汽缸 C1、C2 的活塞退回的状态)；

第 8 行　将 A 口的输入数据送到 A 寄存器中(输入开关的状态)；

第 9 行　将 A 寄存器与 B 寄存器进行比较(与光传感器的动作状态比较)；

第 10 行　若比较结果不同，返回到向 A 口输入数据(在光传感器动作之前，重复进行第 9、10 行的操作)；

第 11、12 行　从 B 口的第 0 位输出数据“1”(使汽缸 C1 的活塞伸出，在传送带上设置挡板)；

第 13 行　将 A 口的输入数据送到 A 寄存器中(输入开关状态)；

第 14 行　将 A 寄存器与 C 寄存器进行比较(挡板挡住物品与限位开关 LS1 的动作状态比较)；

第 15 行　若比较结果不同，返回到向 A 口输入数据(在 LS1 动作之前，重复进行第 13、14 行的操作)；

第 16、17 行　从 B 口的第 0 位、第 1 位输出数据“1”(使汽缸 C1 的活塞伸出，在设置挡板的状态下使汽缸 C2 的活塞伸出，将物品推出传送带)；

第 18 行　将 A 口的输入数据送到 A 寄存器中(输入开关状态)；

第 19 行　将 A 寄存器与 D 寄存器进行比较(汽缸 C2 的活塞伸出，将物品推出传送带后的状态与限位开关 LS5 的动作状态比较)；

第 20 行　若比较结果不同，返回到向 A 口输入数据(在 LS5 动作之前，重复进行第 18、19 行的操作)；

第 21 行　返回到初始状态的输出；

第 22 行　程序结束。

为了便于说明问题，将装置做得很简单，但在实际的制作中，应当考虑构造或程序方面的各种问题，吸取试制中失败的教训，并借鉴以往技术上所积累的经验。

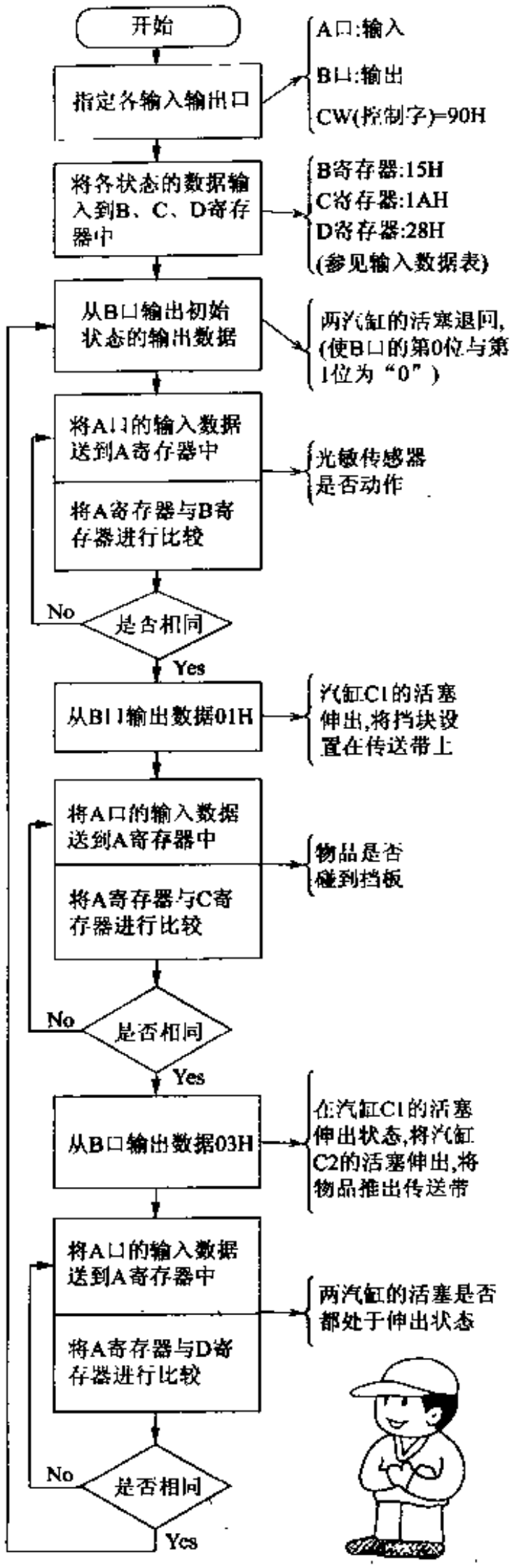


图 3　流程图

练习题

1. 用微机使汽缸动作,需要些什么?
2. 判断输入口的方法有哪些?

解答

1. 需要能用微机输出的信号来使接点动作的继电器,改变向汽缸输入压缩空汽流向等用的电磁阀,以及它们的驱动电路。
2. 一种方法是仅取出某位来检查是“0”还是“1”;另一种方法是对表示输入口所有位状态的数据进行检查。

9 微机控制(5)——使用步进电动机的控制装置

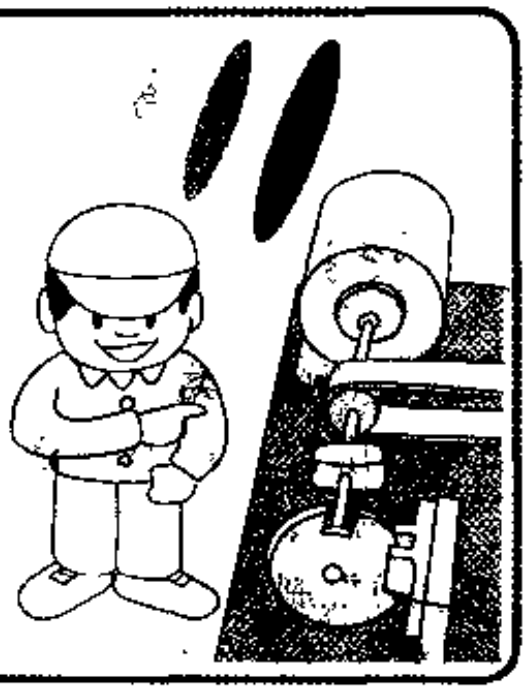


图 1 为使用步进电动机来使皮带往复运动的装置。这种原理正被用于打印机的打印头往复控制装置中。

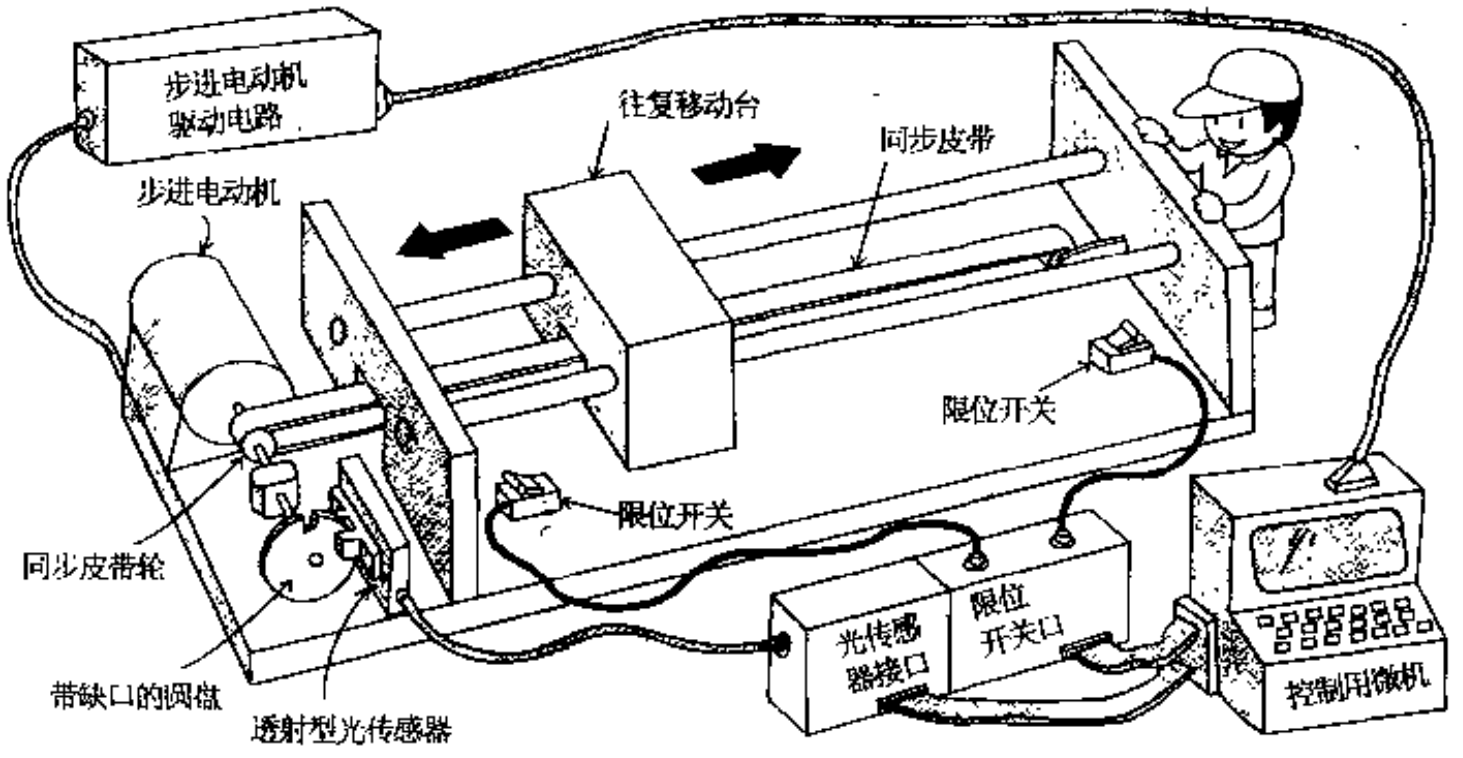


图 1　步进电动机控制的往复运动装置

1　装置的构造与控制的内容

(1)驱动部分

① 步进电动机：

步进角 1.8 度/步(二相励磁)

驱动电压 12V

驱动电流 0.6A/相

② 同步皮带 节距 2.032mm

宽 6.4mm

同步皮带轮 节距 2.032mm

齿数 20个

(2)传感器类

① 限位开关:往复移动台的两端上装限位开关,以防止超限;

② 旋转检测传感器:使用透光型传感器与带缺口的圆盘来检测旋转。

(3)控制内容

移动量、移动速度、返回起始点等均用微机控制。

2 步进电动机的工作原理

图2所示的电磁铁,以A、B、C顺序依次励磁,铁片T就会被励磁过的磁铁所吸引而沿着隔板移动。同样道理,将电磁铁排列在圆周上并依次励磁,铁片就会旋转。将励磁方向倒过来,就会反方向旋转。这就是步进电动机的原理。

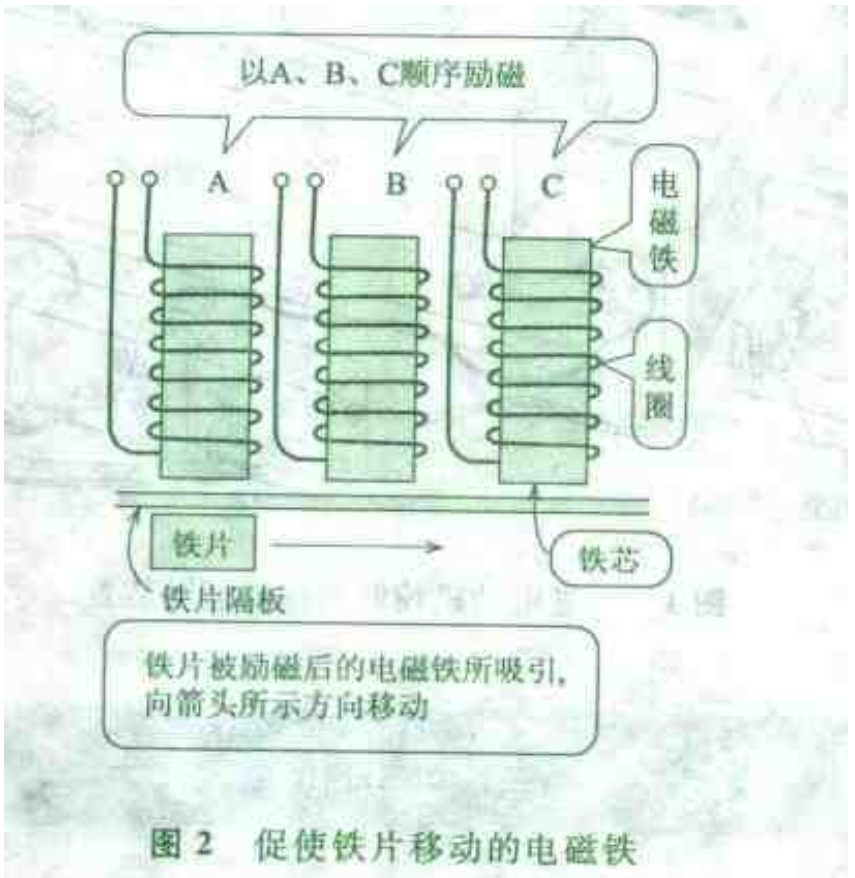


图2 促使铁片移动的电磁铁

图3所示为二相励磁步进电动机的原理图。将设置在A相、B相、C相与D相的开关按1、2、3、4的顺序接通与断开(ON/OFF),转子就顺时针旋转。根

据这一原理，用晶体管电路来代替开关，依次将信号输入晶体管的基极，转子就会旋转起来。

步进电动机始终有两相或两相以上处于励磁状态，一直对电机施加电磁力矩，可以使电机停止。

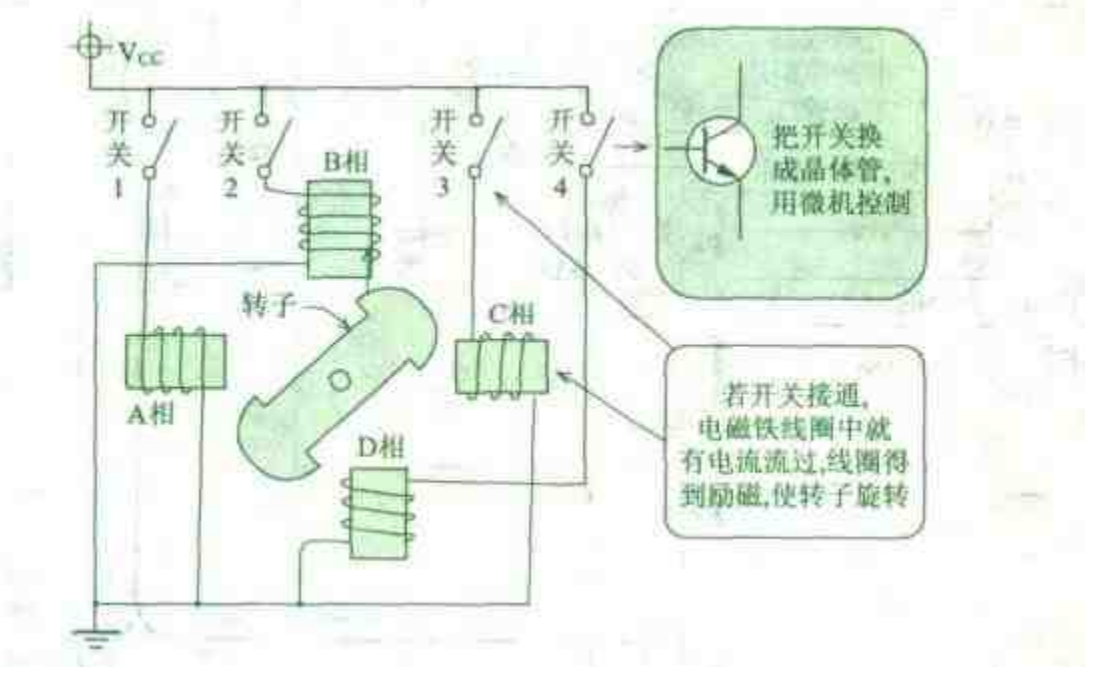


图 3　二相励磁步进电动机的原理图

Ⅲ　步进电动机的驱动电路

图 4 是用微机输出的脉冲信号来驱动步进电动机的例子。按 A 相、B 相、C 相与 D 相的顺序来施加信号，就是使转子旋转的简单电路。

·电路说明·

① 2SD633 型晶体管，是用于驱动步进电机的达林顿式晶体管。

·直流电流放大系数 h_{FE} = 2 000～15 000

·集电极电流(最大)I_C = 7A

因步进电动机每相的驱动电流为 0.6A，所以有足够的余量。作为驱动步进电动机用的晶体管，为了防止其高频开关(ON/OFF)状态所造成的对响应特性的影响，要在其基极与发射极之间接入电阻；为了防止在集电极、发射极之间由反电势产生的高压，要在这二者之间接入二极管。

② 12V 电源的正极端，通过步进电动机的每相线圈，连接到晶体管的集电极。为了吸收线圈所产生的反电势，与线圈并联接入电阻 R_F 与二极管 D。此电阻可缩短反电势吸收的时间，有防止在高速区域转矩下降的作用。电阻 R_F 用 120Ω 左右，电阻 R_F 与二极管 D 的耐压均应比反电势高；

③ 电动机每相的驱动电流为 0.6A，这就是集电极电流 I_C。晶体管的直流

电流放大系数 h_{FE} 最小为 2 000 倍，基极电流可按下式计算：

$$I_B = I_C / h_{FE} = 0.6/2\ 000 = 0.3(mA)$$

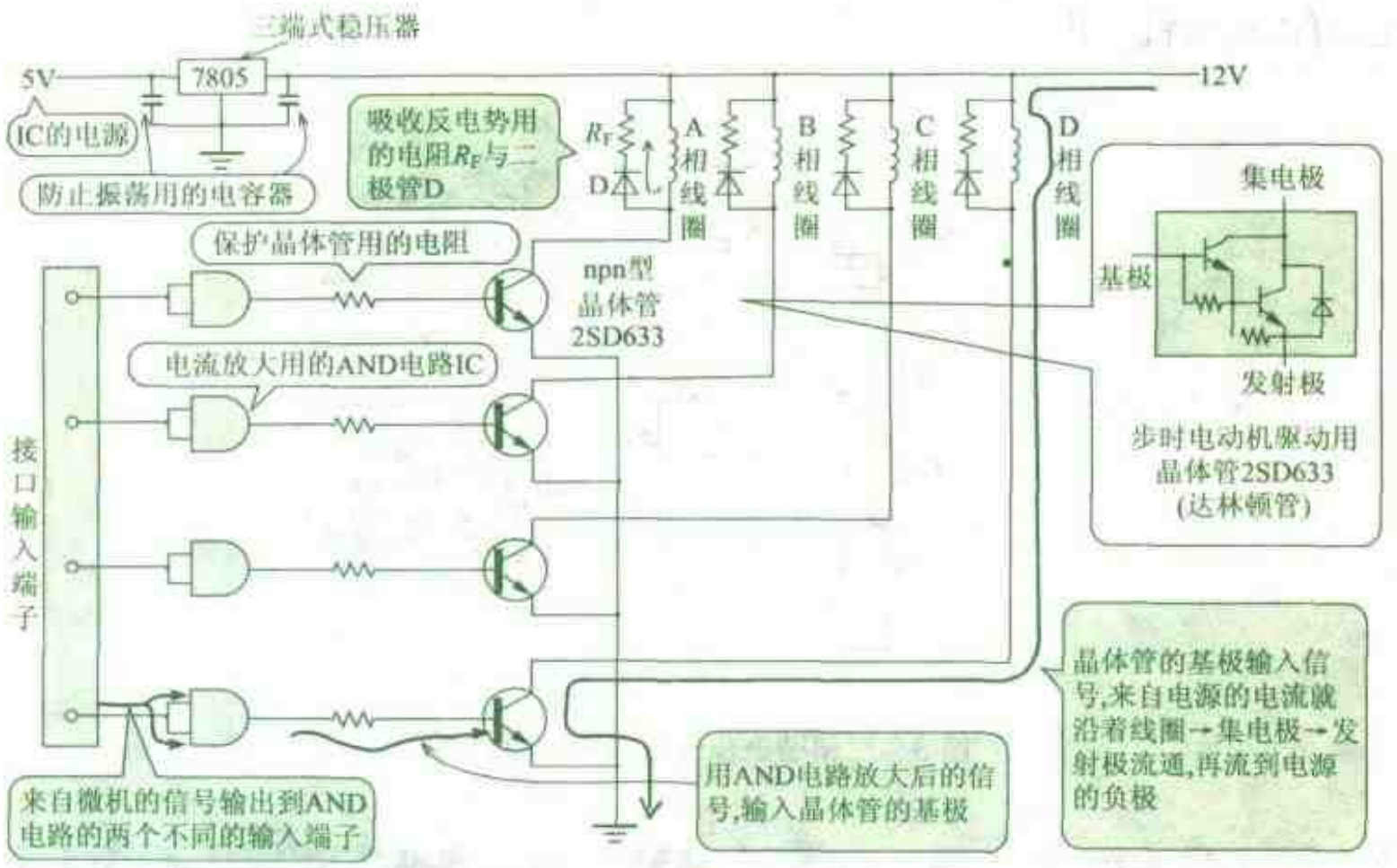


图 4　步进电动机驱动

④ 微机输出口(8255)的信号“1”输出电流为 0.2mA，此值小于基极所必须的电流 I_B，所以不能将输出口的端子直接连接到晶体管的基极上。为此，采用 AND 电路 IC(74LS08)来放大，这种 IC 信号“1”的输出电流是 0.4mA，大于所需的基极电流 I_B(0.3mA)；

⑤ IC 与基极之间所接的电阻 R_B 是用于保护晶体管的电阻，阻值可按下式计算：

$$R_B = (V_{OH} - V_{BE}) / I_B$$

V_{OH}：IC 信号为“1”时的最小输出电压为 2.7V。

V_{BE}：(达林顿管)基极与发射极之间的电压为 1.4V。

$$R_B = (2.7 - 1.4)/0.000\ 3 = 4\ 333.3(\Omega)$$

因此，取电阻 R_B 为 4.3kΩ；

⑥ IC 用的电源采用输出电压为 5V 的三端式稳压器(7805)，其电源端输入电压为 12V，输出电压为 5V，输入输出两端均用 0.1μF 的陶瓷电容来防止振荡。

Ⅳ　限位开关的接口

为了防止超出行程，在移动台的两端装有限位开关。限位开关的信号通过接口电路输入到微机。接口电路如图 5 所示，使用积分电路与施密特电路来消除波形的抖动。

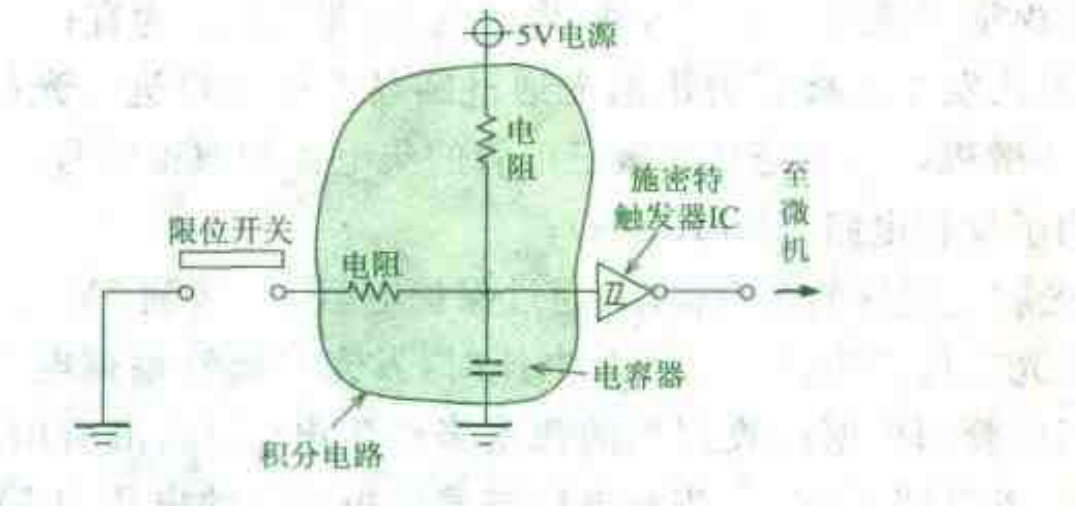


图 5　消除波形抖动的电路

Ⅴ　检测旋转的传感器接口

检测旋转的传感器接口是由透射型光传感器与带缺口的圆盘组成的。

透射型光传感器采用欧姆龙公司(OM RON)的槽型光传感器，型号为 EE-SG3，通过图 6 所示的接口接入微机。

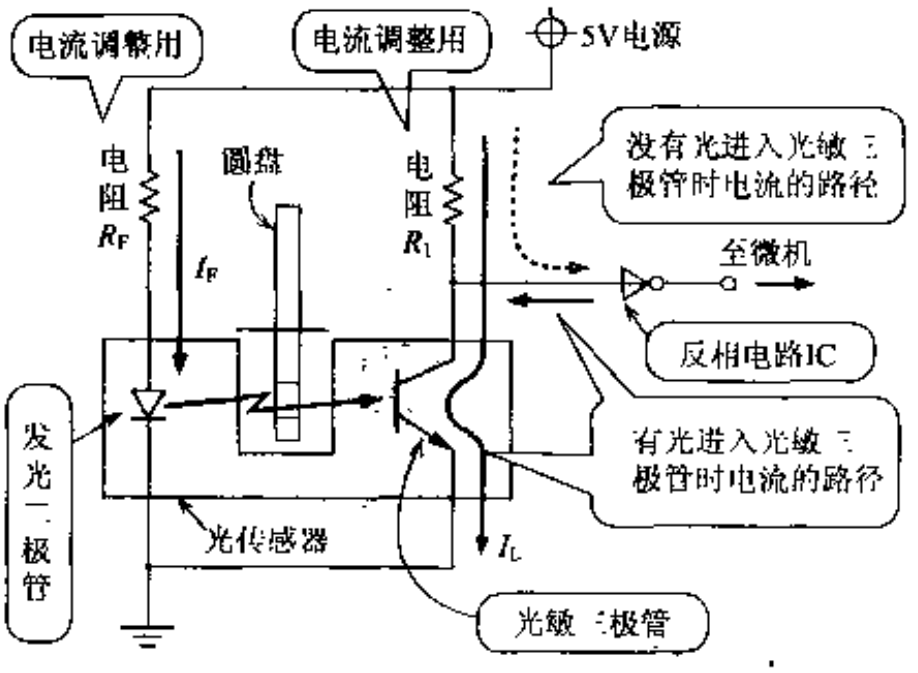


图 6　光传感器的接口电路

·电路说明·

① 首先，电阻 R_F（调整发光二极管的通过电流用）接到 5V 电源的正端（V_{CC}），其负端接到 5V 电源的负端，流过发光二极管的电流 I_F 为 15mA，调整电流用的电阻 R_F 的阻值可按下式计算（其中施加在发光二极管的电压 V_F 取 1.2V）：

$$R_F=(V_{CC}-V_F)/I_F=(5-1.2)/0.015$$
$$=253.3(\Omega)$$

为了保证电流不小于 15mA，将电阻 R_F 取 220Ω 为宜；

② 当从发光二极管射出的光通过圆盘上的缺口进入光敏二极管时，信号“1”就输入微机。由于是从光敏三极管的集电极端取得信号，必须将信号反相，所以使用了反相电路 IC（74LS04）；

③ 光敏三极管的集电极端，通过保护电阻 R_L 接到 5V 电源的正端（V_{CC}）。

当发光二极管中流过 15mA 电流时，发光二极管根据电流的强度来发光，而光敏三极管则根据接收到光的强度来产生电流 I_L，由所用光传感器的输出特性曲线（参见图 7）可知，当集电极与发射极之间的电压为 5V，流过发光二极管中的电流 I_F 为 15mA 时，光敏三极管的集电极、发射极之间流过的电流 I_C 约为 4.6mA，因此，可按下式计算电阻 R_L 的阻值：

$$R_L=V_{CC}/I_L=5/0.004\ 6=1\ 087(\Omega)$$

因此，可选用阻值为 1.2kΩ 的电阻；

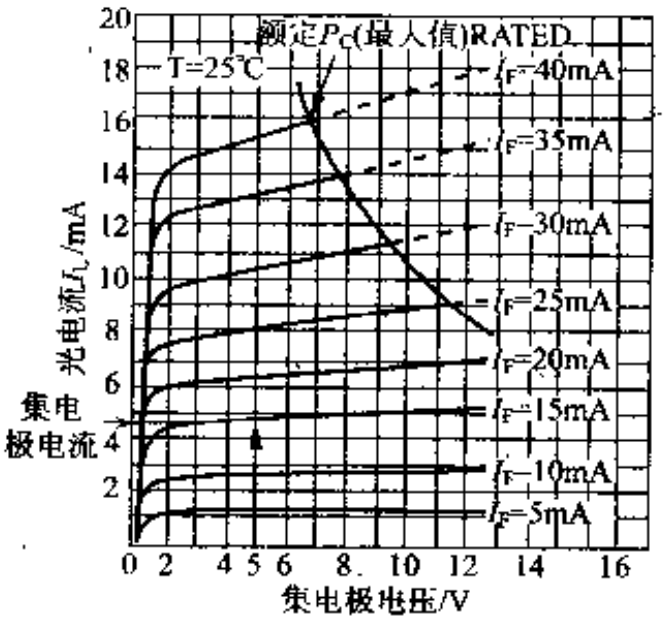


图 7　光传感器的输出特性曲线

④ 来自光敏三极管集电极端的信号与进入反相电路 IC 信号的关系。

当有光进入光敏三极管时，电流 I_{IL}（最大值 0.4mA）从 IC 流入光敏三极管

的集电极，此时的电流 I_{IL} 便叠加到流过光敏三极管的集电极与发射极之间的电流 I_L 上。因此，将电阻 R_L 取比计算值大，可减少从电源流出的电流。

另外，当没有光进入光敏三极管时，电流是通过电阻 R_L 流入反相电路 IC 的，此时 IC 作为信号"1"的接收者，必须有 2.5V 以上的电压 V_{IH}。因信号"1"的吸收电流 I_{IH} 最大值为 20μA，所以 R_L 上的电压降为：

$$R_L \cdot I_{IH} = 1\ 200 \times 0.000\ 02 = 0.02(V)$$

由于电源电压为 5V，所以 IC 上的输入电压 V_{IH} 就肯定要大于 2.5V。

练习题

1. 步进电动机不旋转时，若流过电流电动机也会产生转矩吗？
2. 光敏三极管中流过的电流是由所接收光的强度来决定的，光强度越强电流越大的说法对吗？

解答

1. 在步进电动机停止旋转时，借助对电磁铁的励磁，也会产生转矩。
2. 光敏三极管接收到光时，是由所接收光的强度来决定电流的，所以这种说法是对的。

10 微机控制(6)——步进电动机的往复控制装置



1 往复控制装置与微机的连接

如图 1 所示，把步进电机的往返移动控制装置连接到微机上。

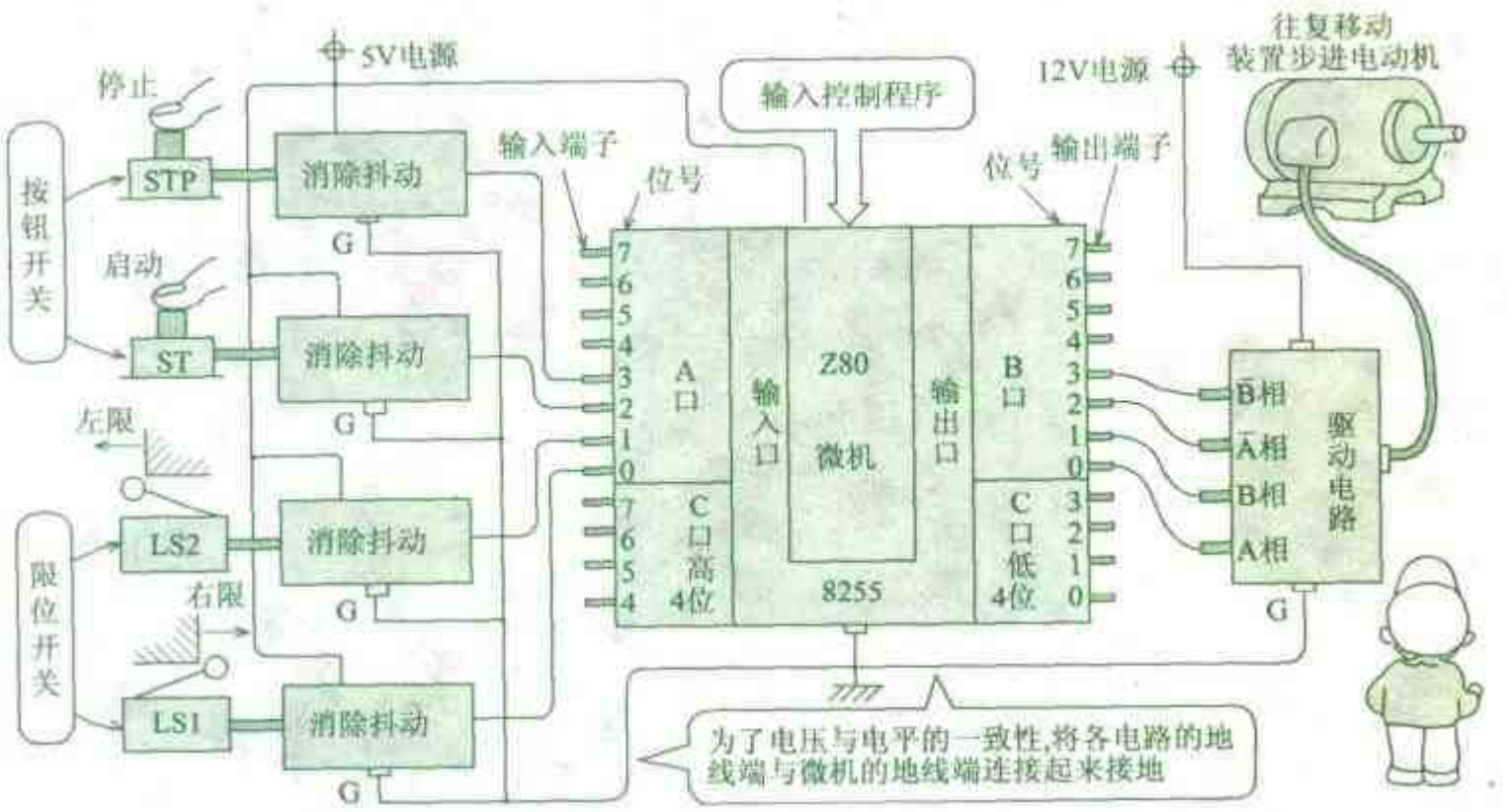


图 1　步进电动机与微机的连接

微机各 I/O(输入/输出)口(8255)的输入与输出规定如下：

A 口　　输入

B 口　　输出

C 口:高端 4 位　输入

C 口:低端 4 位　输出

将各开关通过消除抖动电路连接到 A 口的管脚上,接法如下:

第 0 位　　限位开关 LS1

第 1 位　　限位开关 LS2

第 2 位　　启动按钮 ST

第 3 位　　停止按钮 STP

将步进电动机通过驱动电路接到 B 口的管脚上,接法如下:

第 0 位　　A 相

第 1 位　　B 相

第 2 位　　$\overline{A}$ 相

第 3 位　　$\overline{B}$ 相

与微机连接时应当特别注意的是,为了使微机与其他电路的电压电平保持一致,必须将所有电路的地线端(G)与微机的地线端连接起来接地(和使用的电压没有关系)。

Ⅱ　微机的输出信号

图 2 采用两相线圈励磁的二相励磁方式,来驱动步进电动机旋转。

在图 2 方式下,从微机输出到各相的信号数据如表 1 所示,从 B 口的第 0 位到第 3 位为输出,同时,当励磁的顺序反过来时,就会反方向旋转("1"表示励磁,"0"表示没有励磁)。

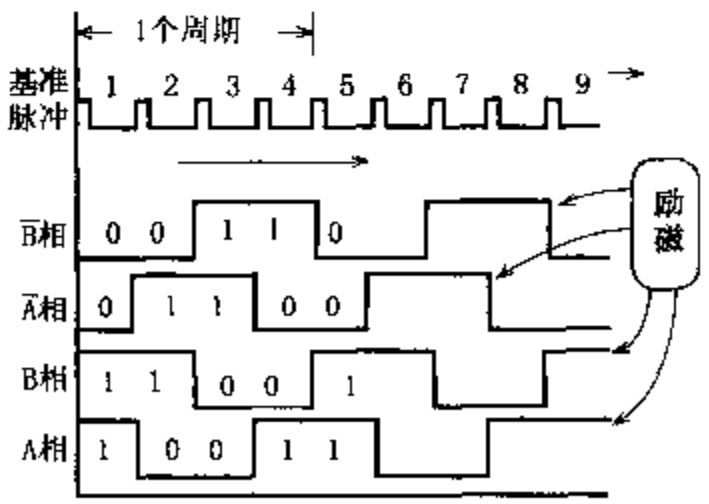


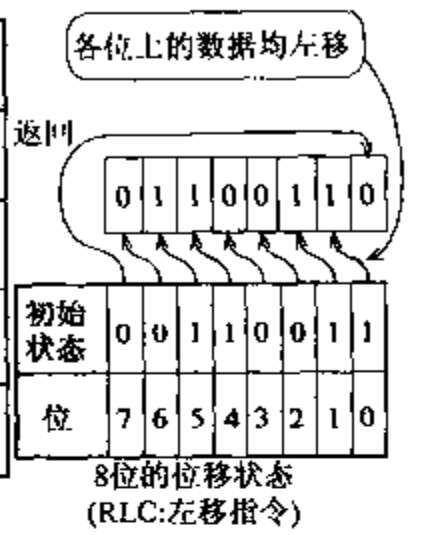
图 2　二相励磁方式的状态

表 1　二相励磁方式的输出数据

(1:励磁)　(H:十六进制数)

第4位数据	3H	6H	CH	9H
第3位 B相	0	0	1	1
第2位 A相	0	1	1	0
第1位 B相	1	1	0	0
第0位 A相	1	0	0	1

输出数据(4位)



8位的位移状态
(RLC:左移指令)

Ⅳ　旋转输出信号的程序

如用表 1 的数据来输出时，最初的数据为 0011(3H)，然后将 11 依次左移，0011 也依次成为 0110，1100，1001，0011，如此反复进行。虽然在实际的电路中只使用 4 位就够了，但程序的运行命令都要用 8 位。所以用 8 位的初始输出数据为 00110011(33H)。接着用 RLC 指令将初始的数据左移 1 位，将这些数据依次输出时，低 4 位就表示表 1 所示的输出数据，高 4 位也是相同的数据，可根据需要进行处理。若要将旋转方向反过来，则可将移位的方向反过来，变成向右移位就行了。

但是，微机处理的时间是以微秒到纳秒为单位来计算的，对于步进电动机来说显然太快了。为了与步进电动机实际旋转所需的频率相适应，就必须用一段程序作为延时子程序(维持现状的延迟程序)，然后再输出数据。

另外，如再次启动仍以初始值 33H 来启动时，可能出现不符合上次停止时的励磁输出数据(可能不是 33H)，导致步进电动机转动不正常。需要再次启动时，必须知道停止时的励磁状态，再从这一状态下开始启动。为此要将存放在存储器中的初始数据更换为停止时的数据。

在实际的程序中，用程序 1(参见图 3)来处理，所列举的是基准脉冲，即一个脉冲的程序，把它反复 4 次，就输出一个周期。

程序 1 的说明：

① 将存储器地址码 0600H 输入到 HL 寄存器(因为地址是 16 位的，所以要用 H 与 L 两个 8 位寄存器)；

② 从由 HL 寄存器指出地址的存储器中，取出励磁用的输出数据送到 A

寄存器；

③ 将此数据从 B 口输出；

④ 将 A 寄存器中的数据移动(移位)1 位(正转：左移；反转：右移。)；

⑤ 将这一数据存放到地址为 0600H 的存储器中；

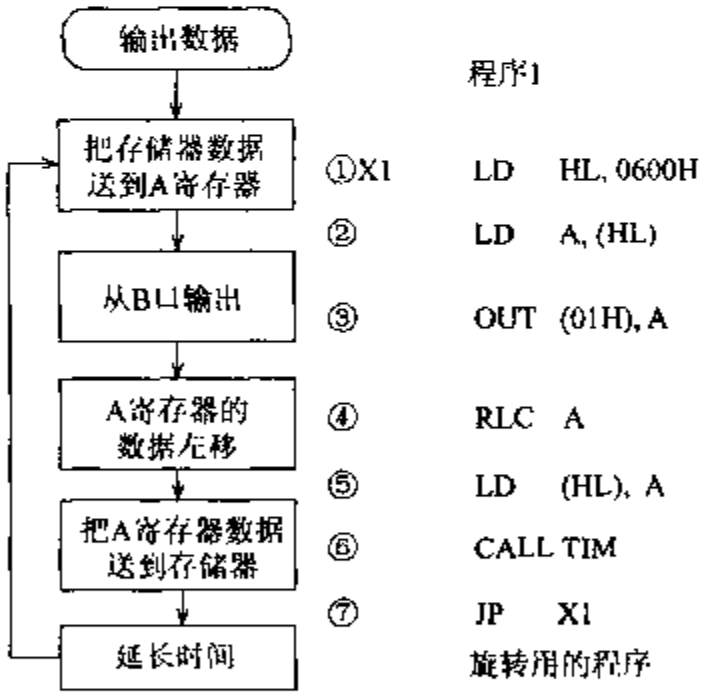
⑥ 使脉冲成为所需周期的脉冲，调用延时到所需周期的子程序；

⑦ 反复上述操作，产生连续的脉冲。

V　延时子程序

延时子程序可编制为，从某个数开始执行每次减 1 的反复操作，一直减到 0 为止的循环程序。若想再延长时间，可以再嵌套循环程序。其时间只取决于计算机的时钟周期与处理命令所需要的时钟脉冲数。

通过示波器观察波形，确定设置延长时间所需要周期的程序。微机的时钟周期为 0.001ms(时钟频率为 1MHz)时，延时约为 0.004 秒的子程序，如程序 2 所示(参见图 4)。

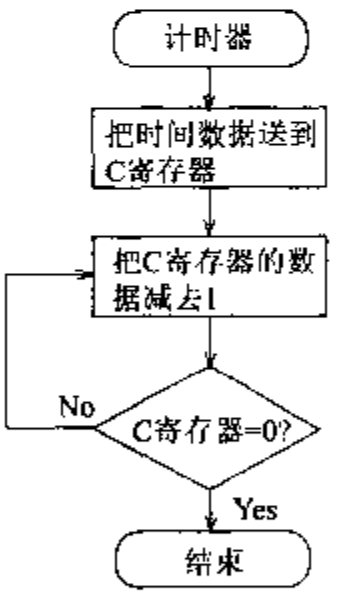


程序1

①X1	LD	HL, 0600H
②	LD	A, (HL)
③	OUT	(01H), A
④	RLC	A
⑤	LD	(HL), A
⑥	CALL	TIM
⑦	JP	X1

旋转用的程序

图 3　流程图 1



程序2

①TIM	LD	C, 0E7H
②X1	DEC	C
③	JP	NZ, X1
④	HALT	



延时程序

图 4　流程图 2

程序 2 的说明：

① 将维持现状的延长时间(0.005 0 秒时为 0E7H)送入 C 寄存器中；

② 从 C 寄存器的数据里减 1；

③ 检查 C 寄存器的数据是否已减到 0，在减到 0 之前一直重复执行②、③

的操作；

④ 返回主程序。

Ⅵ 简单移动程序的设计

设计一个按下启动开关，移动台就会在限位开关之间往复移动；按下停止开关，移动就停止的程序(参见图 5)。

动作要求

① 按启动开关；

② 步进电动机正转，移动台向右移动；

③ 移动台碰到右端限位开关 LS1；

④ 步进电动机反转，移动台向左移动；

⑤ 移动台碰到左端限位开关 LS2；

⑥ 步进电动机正转，移动台向右移动，重复执行②～⑤操作；

⑦ 若按下停止开关 STP，移动台立即停止。

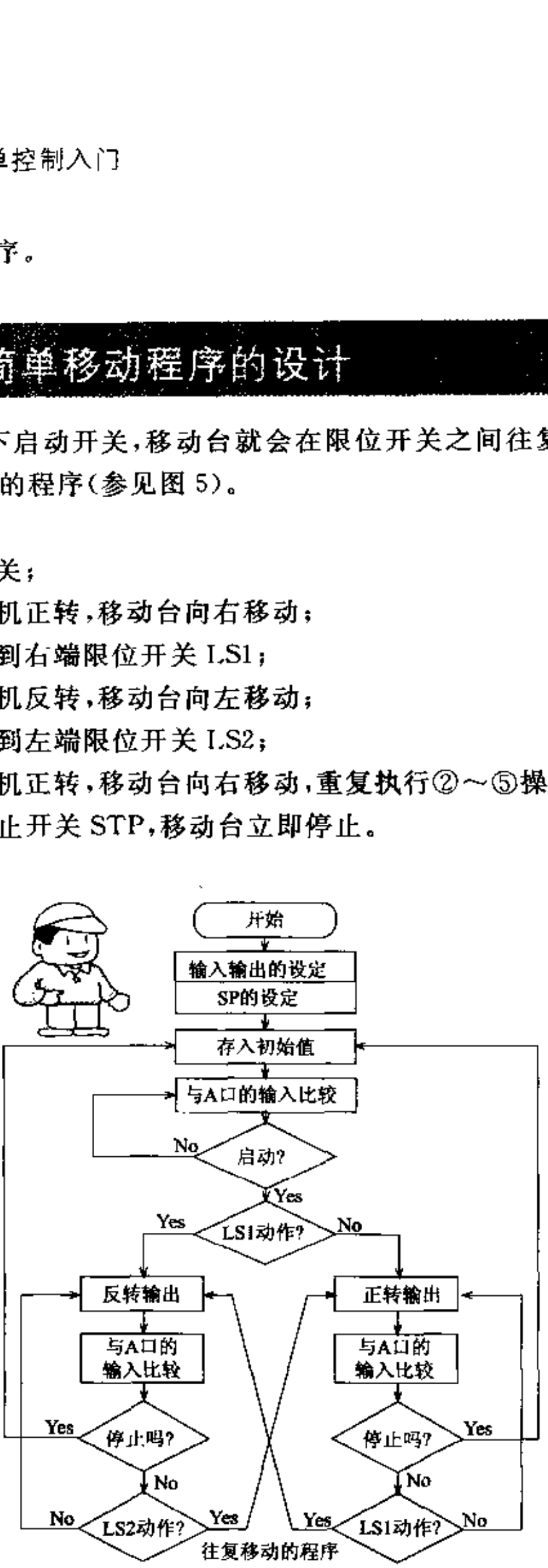


图 5 流程图 3

程序 3

```
1     LD  A,98H          19     BIT   1,A
2     OUT (03H),A        20     JP    Z,X3
3     LD  SP,0700H       21 X2  LD    A,(HL)
4     LD  HL,0600H       22     OUT (01H),A
5     LD  (HL),33H       23     CALL  TIM
6  X1 IN  A,(00H)        24     RRC   A
7     BIT 2,A            25     LD  (HL).A
8     JP  Z,X1           26     IN  A,(00H)
9     BIT 0,A            27     BIT 3,A
10    JP  NZ,X2          28     JP    NZ,X1
11 X3 LD  A,(HL)         29     BIT 0,A
12    OUT (01H),A        30     JP  Z,X2
13    CALL TIM           31     JP  X3
14    RLC  A             32 TIM LD  C,0E7H
15    LD   (HL),A        33 X5  DEC C
16    IN   A,(00H)       34     JP  NZ,X5
17    BIT  3,A           35     RET
18    JP   NZ,X1
```

程序 3 的说明

第 1 行　将指定各口为输入输出的控制字数据(98H)送入 A 寄存器中；

第 2 行　将 A 寄存器中的数据送入控制字寄存器；

第 3 行　设定堆栈，这是使用调用命令(CALL)时所需要的，SP 实际上是存储从子程序返回地址所用的存储器，称之为堆栈(SP)，堆栈指定了存储器的地址码；

第 4 行　将存放输出数据初始值的存储器地址码存入 HL 寄存器中；

第 5 行　将数据 33H(输出数据的初始值)存入已由 HL 寄存器指定地址码的存储器中；

第 6 行　将 A 口的数据输入 A 寄存器中；

第 7 行　提取 A 寄存器的第 2 位数据；

第 8 行　此数据为“0”则转到④，(若为“1”，因启动开关 ST 已按下，继续执行)；

第 9 行　提取 A 寄存器中的第 0 位数据；

第 10 行　此数据为“1”则转到㉑(因已压住限位开关 LS1，应转到反转程序)，若为“0”则继续执行；

(⑪～⑳为正转程序)

第 11 行 将由 HL 寄存器指定地址码的存储器中的数据送入 A 寄存器；
第 12 行 将 A 寄存器中的数据从 B 口输出；
第 13 行 调用延时子程序；
第 14 行 将 A 寄存器中的数据往左移位(执行移位指令)(正转)；
第 15 行 将 A 寄存器中的数据送入 HL 寄存器指定地址码的存储器中；
第 16 行 将 A 口的数据输入 A 寄存器中；
第 17 行 提取 A 寄存器中的第 3 位数据；
第 18 行 此数据为"1"则转到⑥(已按下了停止按钮 STP)；
第 19 行 提取 A 寄存器中的第 1 位数据；
第 20 行 此数据为"0"则转到⑪(判断是否压住了右端限位开关)；
第 21～31 行 反转程序；
第 32、33、34、35 行 延时子程序。

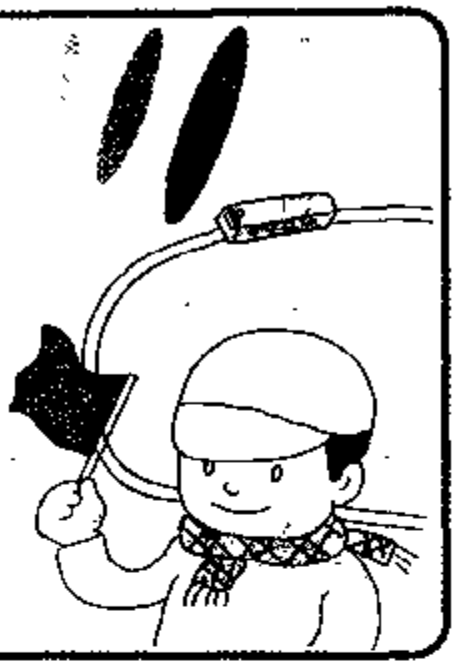
练习题

1. 用 4 位数据来移位就够用了，为什么还要用整个 8 位数据来移位？
2. 产生脉冲的程序中，为什么要加入延时子程序？

解答

1. 因为移位指令是用整个 8 位来进行的，不能只用其一半来移位。
2. 因微机处理的时间是以 μs 为单位的，为了得到控制所需要的较长脉冲周期，所以要加入延时子程序。

11 微机控制(7)——铁路模型的控制 I



现在来学习铁路模型的简单控制接口与绕两圈的程序(参见图 1)。

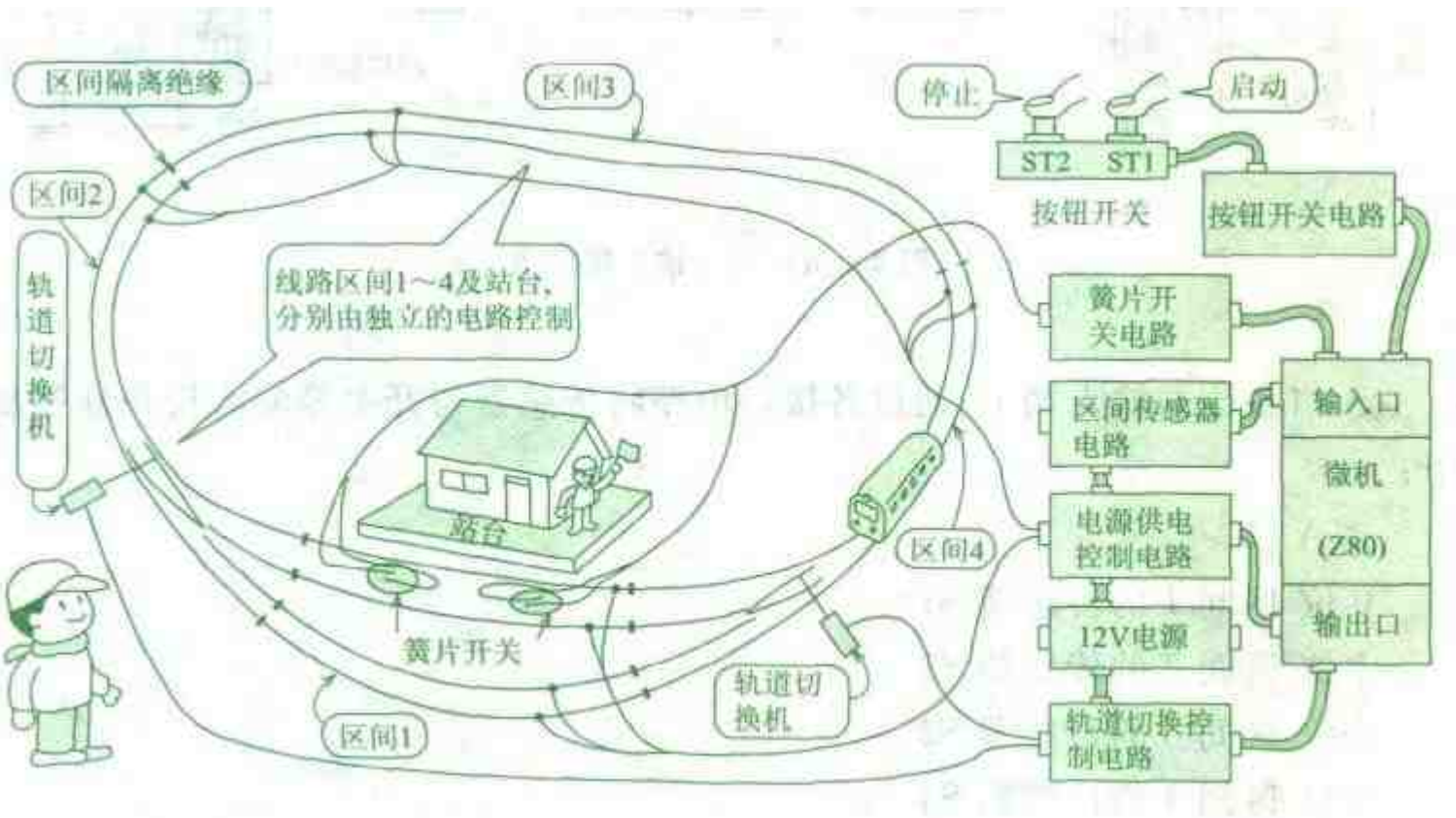


图 1　铁路模型配置图

I　微机与铁路模型电路的连接

图 2 中所示的微机各口的输入输出设定如下：

A 口(地址 00H)　　输入

B 口(地址 01H)　　输出

C 口(地址 02H)　　输出

• 控制字寄存器(地址 03H):控制字为 90H

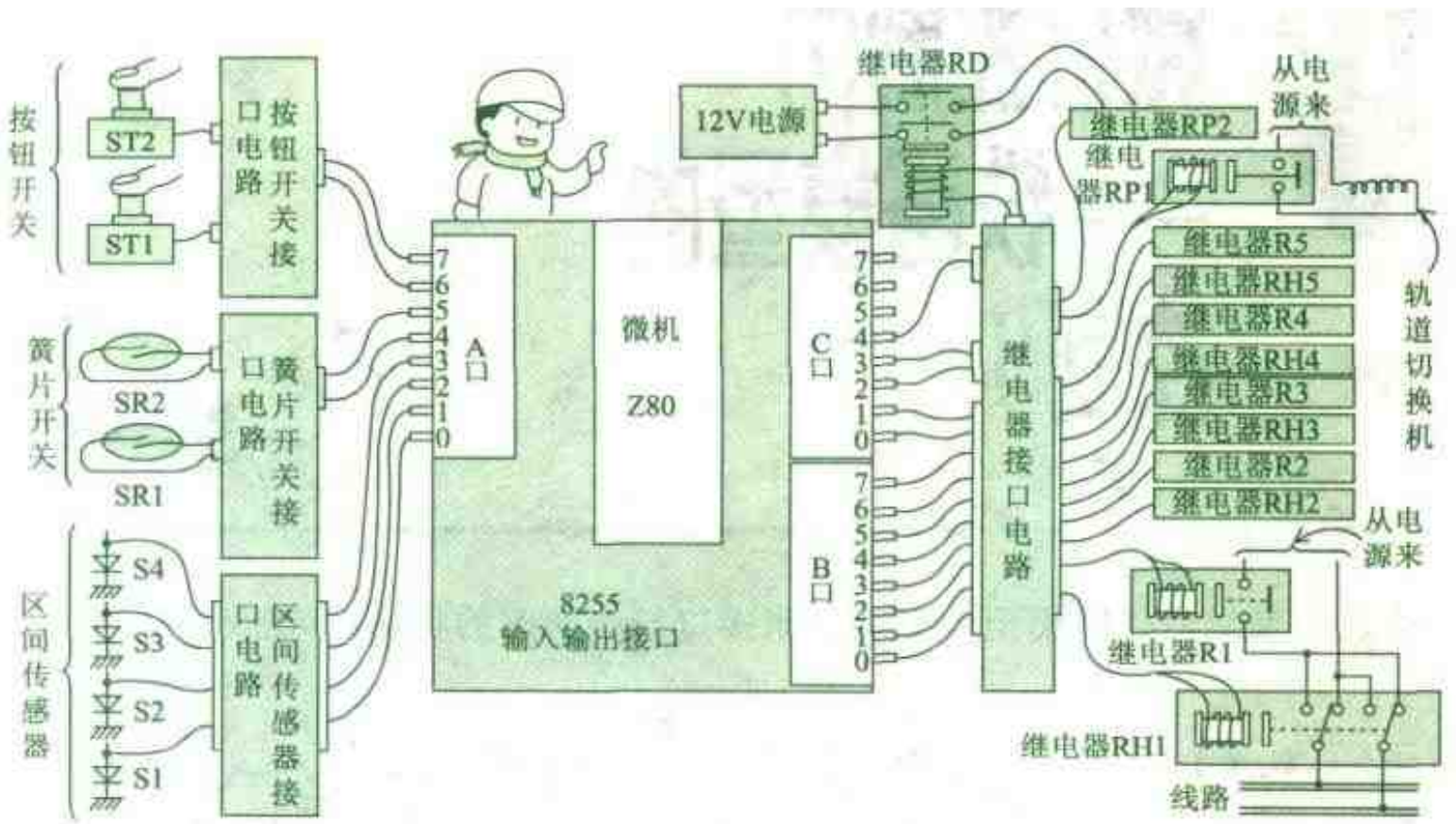


图 2　微机输入输出连线图

A 口各位的输入端子,通过各接口电路将传感器与开关等输入设备连接如下:

<A 口>

0 位 区间 1 的传感器 S1

1 位 区间 2 的传感器 S2

2 位 区间 3 的传感器 S3

3 位 区间 4 的传感器 S4

4 位 簧片开关 SR1

5 位 簧片开关 SR2

6 位 按钮开关 ST1

7 位 按钮开关 ST2

通过接口电路将输出的 B 口与 C 口各位按以下接法,连接到机器上:

<B 口>

0 位 改变行驶方向的继电器 RH1
1 位 停止行驶的继电器 R1　　} 区间 1

2 位 改变行驶方向的继电器 RH2
3 位 停止行驶的继电器 R2　　区间 2

4 位 改变行驶方向的继电器 RH3
5 位 停止行驶的继电器 R3　　区间 3

6 位 改变行驶方向的继电器 RH4
7 位 停止行驶的继电器 R4　　区间 4

<C 口>

0 位 停止行驶的继电器 R5
1 位 改变行驶方向的继电器 RH5　　站台

2 位 点转换继电器 RP1

3 位 点转换继电器 RP2

4 位 电源继电器 RD

*　按钮开关的接口电路如图 3 所示(参见本章第 6 节)。

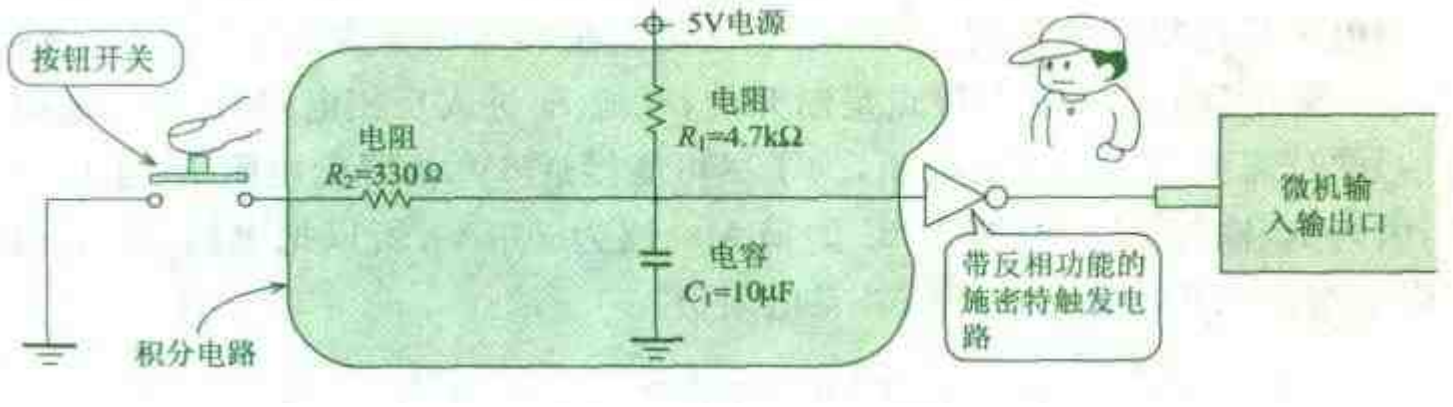


图 3　按钮开关接口电路

Ⅱ　簧片开关的接口电路

图 4 是将站台上传感器 SH1、SH2 的簧片开关连接到微机上的接口电路。

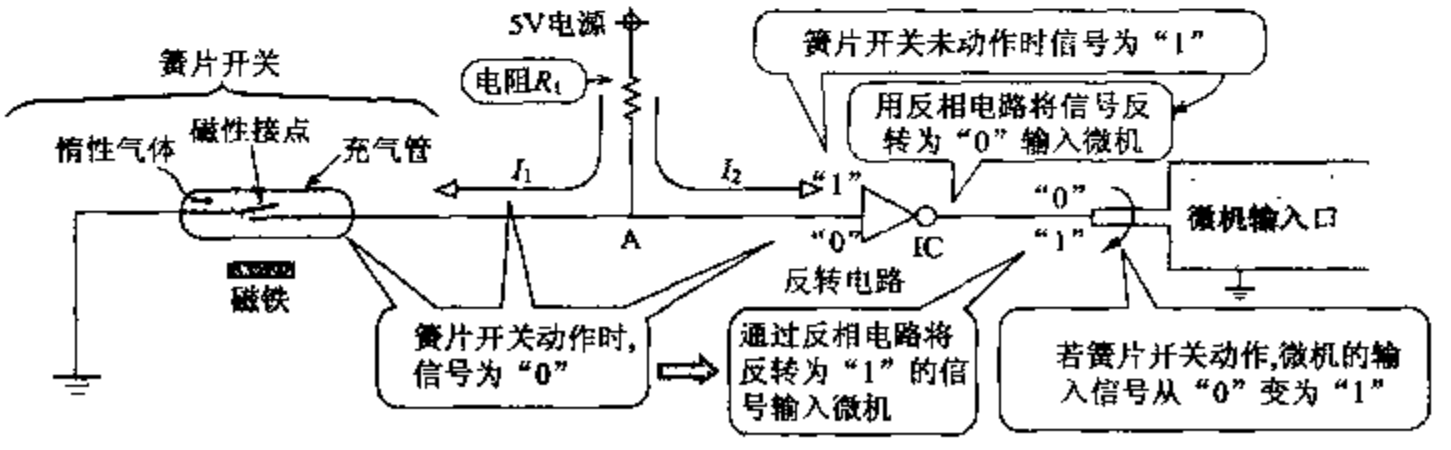


图 4　簧片开关接口电路

簧片开关是将磁性接点装入充气管中，并充满惰性气体密封后所组成的开关，通过磁铁的磁场来闭合接点，当磁铁离开，失去磁场，接点就断开。

把簧片开关设置在线路(轨道的中间)上，当底部带有磁铁的列车在簧片开关上方经过时，接点动作，将信号送入微机。同时，在站台的两端线路上安装簧片开关，可用来检测列车的到达位置。

·电路的说明·

① 簧片开关的一端接地，另一端通过电阻 R_1 连接 5V 电源；

② 电阻 R_1 是限制电流用的，防止簧片开关动作时，电源直接造成电流过大。其电阻值应保证簧片开关的电流 I_1 小于开关接点的允许电流。

例如设簧片开关的允许电流为 50mA(0.05A)，则电阻 R_1 为：

$$R_1=\frac{5\text{V}}{0.05\text{A}}=100\Omega$$

考虑安全系数，可用 1kΩ 以上的电阻；

③ 电阻 R_1 与簧片开关之间信号的提取。簧片开关动作，提取信号点(A点)的电压接地得到的是信号“0”，所以要通过反相电路变为信号“1”输入微机；

④ 簧片开关未动作时接点是断开的，电流 I_2 进入反相电路 IC 中。此时作为信号“1”需要 2V～5V 的电压，为了尽可能接近 5V，需降低电阻 R_1 上的电压降，因为 IC 输入为“1”时流入 IC 的最大电流为 20μA，所以把电阻 R_1 上的电压降限制在 0.5V，则可按下试算得电阻值

$$R_1=\frac{0.5\text{V}}{0.000\ 02\text{A}}=25\ 000\Omega=25\text{k}\Omega$$

取 25kΩ 以下即可。根据②的计算，应在 1 kΩ 以上，如使用 10 kΩ 的电阻，应进行验算。

簧片开关动作时流过的电流 I_1 为：

$$I_1=\frac{5\text{V}}{10\ 000\Omega}=0.000\ 5\text{A}=0.5\text{mA}$$

此值大大小于簧片开关接点的允许电流(50mA)。

簧片开关未动作时的最大电流 I_2 为 20μA，在 10kΩ 电阻上的电压降 V_R 为：

$$V_R=R_1\cdot I_2=10\ 000\Omega\times 0.000\ 02\text{A}=0.2\text{V}$$

通过以上验算可知，用 10kΩ 的电阻是完全可以满足要求的。

Ⅲ　区间的接口电路

图 5 是区间的传感器与微机连接的接口电路。铁路模型中常采用这种电

路，在线路的电源电路的地线前串联两个二极管，从正极(阳极)端取出信号。

电车驶入该区间的线路，区间供电电路上流过电流，电流在二极管的两端造成的电压降为 0.7V，两个二极管上的信号电压是 1.4V。

基极输入电压超过 0.6V 时，晶体管导通，从晶体管的集电极提取信号与微机相连接。

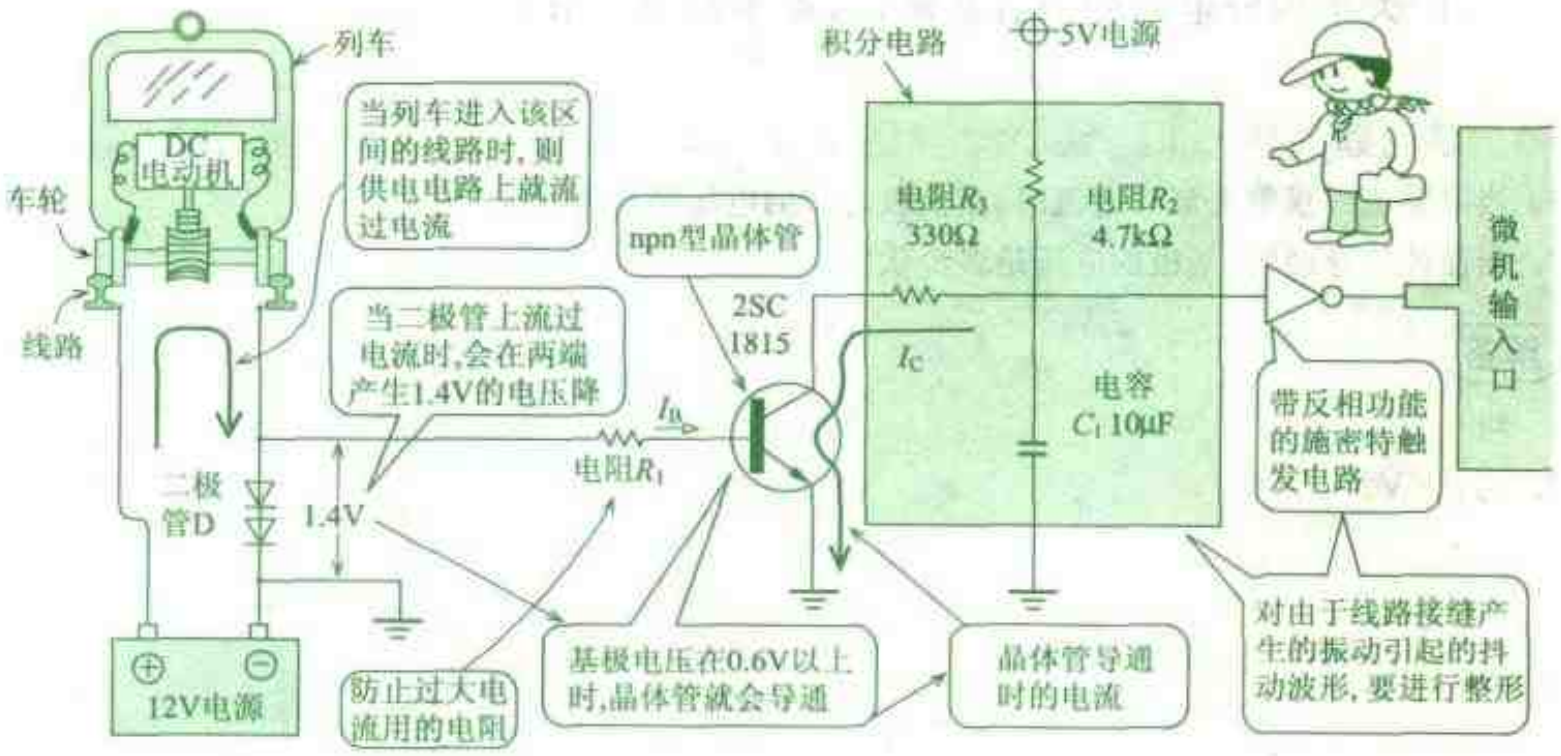


图 5　区间传感器的电路

应当注意，当列车改变行驶区间时，由于线路的接缝产生的振动会引起信号波形的抖动，因此从晶体管输出的信号要通过积分电路与施密特触发电路进行整形，再输入微机。当列车驶入区间时，从晶体管的集电极取得的信号为“0”，要用带反相功能的施密特触发电路将信号变为“1”。

·电路说明·

① 在向区间供电电路的地线的前面，接入两个硅整流二极管，其额定电压应大于电源电压，额定电流为模型电车最大使用电流的 2～3 倍以上；

② 晶体管使用 npn 型的 2SC1815，电流放大系数(h_{FE})为 120；

③ 为了限制流过晶体管基极的过大电流。二极管的正极接入电阻 R_1，基极电流 I_B 由集电极电流 I_C 与电流放大系数 h_{FE} 来决定。集电极的电流可从积分电路的电阻 R_2(4.7kΩ)与 R_3(330Ω)求得：

$$I_C=\frac{V_{CC}}{(R_2+R_3)}=\frac{5V}{(4\,700\Omega+330\Omega)}\approx 0.001A=1mA$$

晶体管的电流放大系数(h_{FE})是 120，基极电流 I_B 为：

$$I_B=\frac{I_C}{h_{FE}}=\frac{0.001}{120}$$

$$=0.000\ 008\text{A}=8\mu\text{A}$$

取电阻 R_1 为 330Ω，此时的电压降非常小，V_{R1} 为：

$$V_{R1}=330\Omega\times 0.000\ 008\text{A}=0.002\ 6\text{V}$$

虽然电压很小，但使晶体管导通是不成问题的；

④ 关于积分电路的内容从略(参见本章第 6 节)。

练习题

1. 当硅整流二极管上流过电流时，正负极之间的电压降是多少伏？
2. 当晶体管导通时，基极的电压是多少伏？

解答

1. 约 0.7V。
2. 约 0.6V。

12 微机控制(8)——铁路模型的控制Ⅱ



现在来学习铁路模型的线路供电电源的控制电路和轨道切换接口电路的控制程序。

Ⅰ 供电电源电路

在电气上将线路分为五个独立的供电区间(参见图 4),分别对所属的供电电源的电路进行控制,改变行驶方向以及通断,均采用继电器的接点来进行控制,而继电器则由微机来控制。

图 1 所示的供电电源电路,是各区间通用的,与微机的连接与前面介绍的相同,继电器的编号与区间的编号一致,站台之间的继电器编号有五个号码(参见本章第 11 节)。

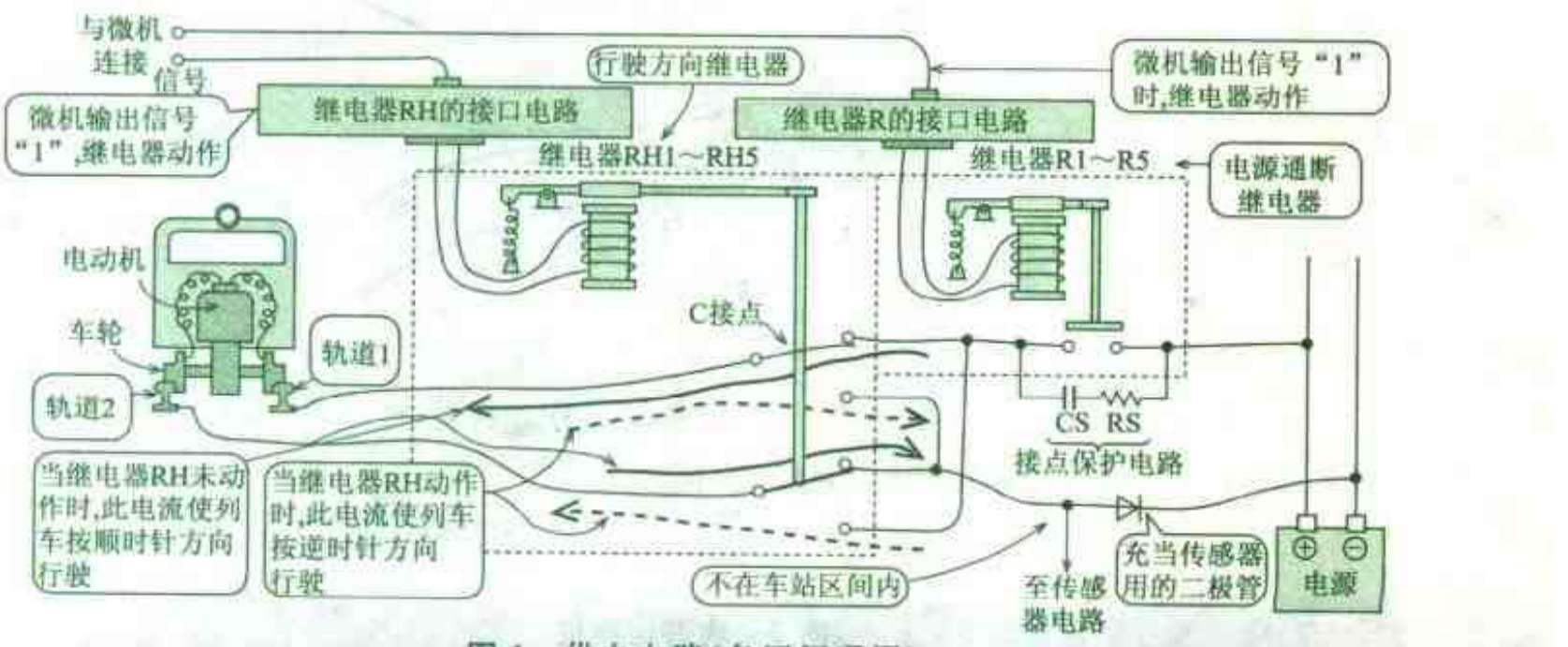


图 1　供电电路(各区间通用)

·电路说明·（参见图 1）

① 该区间内的线路上行驶的列车只有一列，列车行驶所需的电流为0.7A，但是考虑到启动时产生的电流过大，继电器接点的额定电流应取 5A 以上，继电器线圈的工作电压为直流 12V；

② 电源用的继电器 R1～R5，以 a 接点（常开接点）接在电源的正端；

③ 行驶方向控制的继电器 RH1～RH5 使用两个转换接点（c 接点），按电路所示连接。继电器未动作时，电源正极接轨道 1，电源负极接轨道 2；继电器动作时，则反过来连接，电流方向也相反；

④ 在接通、切断电动机等感应负荷时，会产生相当高的反电势，因此会引起接点之间的电弧放电，使接点损坏或产生对微机有不良影响的噪声干扰。因此要在继电器 R1 的接点上并联电阻 RS 与电容 CS，以吸收反电势。

所用电阻与电容的标准值为：

$RS=50\sim100\Omega$

$CS=1\sim2\mu F$

在使用时，可根据具体情况和使用条件变更其数值。

Ⅱ　轨道切换机用的接口电路

用于铁路模型的轨道切换机有多种，现采用图 2 所示的。它是由弹簧和螺线管构成的，在靠近要接合线路的一边设置弹簧，而流过电流的螺线管则设置在靠近线路另一边的机构上。

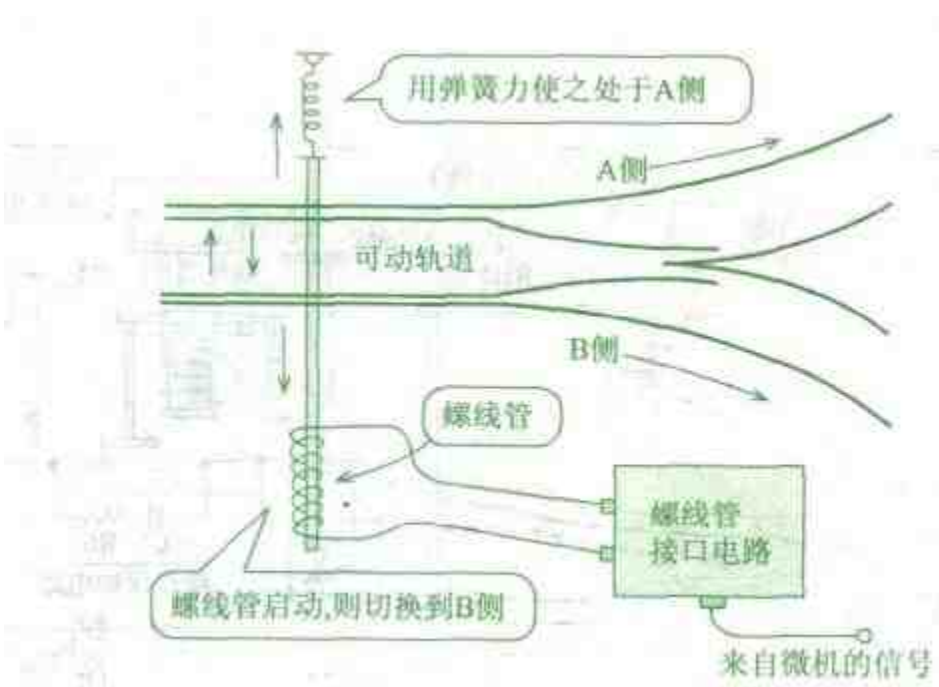


图 2　轨道切换机

接口电路如图 3 所示，来自微机的信号使晶体管导通，流过螺线管上的电流构成回路，电路与继电器接口电路相同，再次说明是为了加深印象。

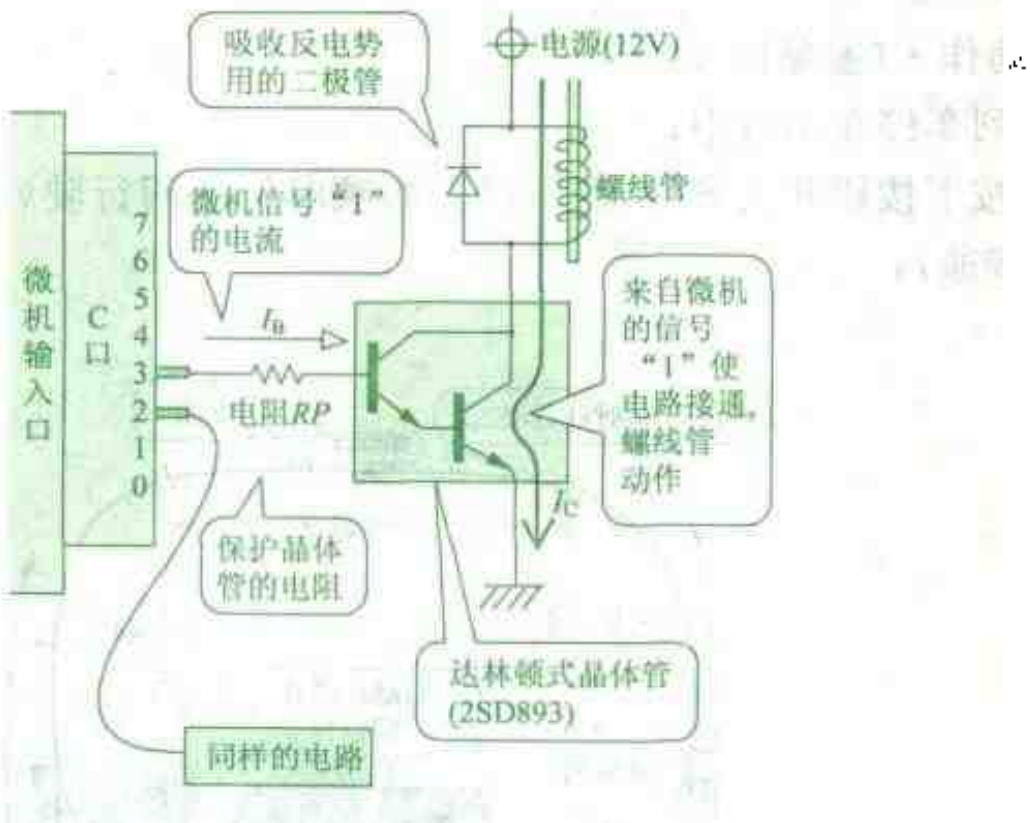


图 3　螺线管的接口电路

·电路说明·

① 电源的正极通过螺线管连接晶体管的集电极，发射极接地(负极)；

② 与继电器一样，螺线管也是感应负荷，为了吸收其反电势，把二极管与螺线管并联连接；

③ 设螺线管的工作电流为 0.1A，这就是流过集电极的电流 I_C，为了安全起见，使用晶体管最大集电极允许电流为 1A 的 npn 型达林顿式晶体管(2SD893)；

④ 微机的输出端子通过电阻 *RP* 连接到晶体管的基极上。

此时晶体管的电流放大系数(h_{FE})在 2 000 倍以上。因基极电流就是微机输出信号为"1"的电流值(0.2mA)，所以可用下列式子求得集电极电流

$$I_C = h_{FE} \times I_B = 2\,000 \times 0.2\text{mA} = 0.4\text{A}$$

输出信号"1"使晶体管导通，螺线管中将流过 0.4A 以上的电流。

螺线管断电时，保持在 A 侧，与站台一侧的区间的线路接合。螺线管通电时，切换到 B 侧，即区间 1 的一侧(参见图 2、图 4)。

Ⅲ 顺时针、逆时针各行驶两圈的程序

·动作·(参见图 4)

① 列车停在站台中;

② 按下按钮开关 ST1,列车就开始顺时针绕圈行驶(站台区间与区间 2、3 的电源接通);

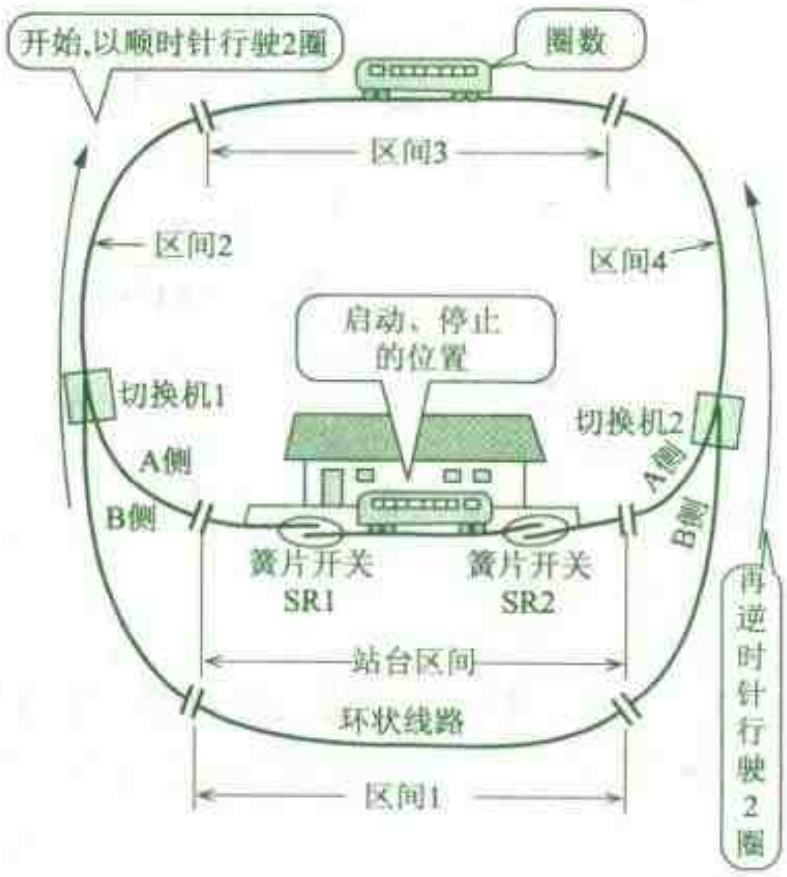


图 4 绕圈线路的配置图

③ 到达区间 3,两个切换机都应在 B 侧,列车沿区间的一侧绕圈行驶,区间 1、3、4 的电源接通;

④ 列车进入区间 1,切换机 2 切换到 A 侧(所有区间的电源均接通);

⑤ 列车通过区间 2、3、4 进入站台区间,簧片开关 SR1 检测到列车的到达,列车停驶,切换机复位(A 侧)(所有区间的电源都切断);

⑥ 停车约 3 秒钟,以逆时针方向绕圈行驶(在区间 3、4 与站台区间的电源接通);

⑦ 驶入区间 3,则两个切换机切换到 B 侧,列车沿着区间 1 另一侧绕圈行驶(区间 1、2、3 电源接通);

⑧ 列车进入区间 1,切换机复位(A 侧)(所有区间电源都接通);

⑨ 列车通过4、3、2区间进入站台间，簧片开关SR2检测到列车到达，切断电源，列车停驶，两个切换机复位(A侧)，动作结束，按下按钮ST1(所有区间电源均切断)。

·动作与微机输出的信号·

① 行驶方向：输入继电器RH1～RH5的信号，顺时针方向为"0"，逆时针方向为"1"；

② 电源：输入继电器R1～R5的信号，ON为"1"，OFF为"0"；

③ 切换机：输入继电器RP1～RP2的信号，A侧为"0"，B侧为"1"；

程序及其说明参见表1。输入输出数据参见表2。

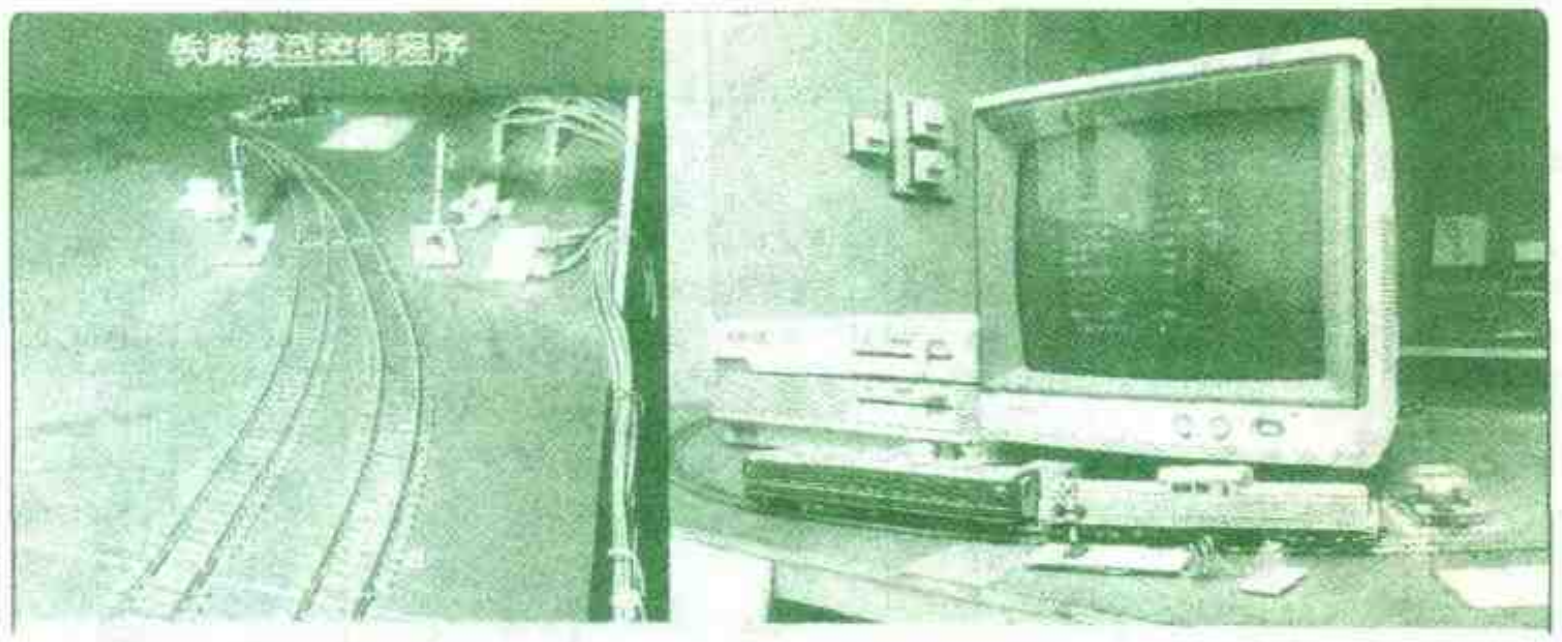


表1　铁路模型控制程序

No	标记	指令	操作数	说　明	地址	机器码
1		LD	A,90H	设置A口为输入口	0000	3E 90
2		OUT	(03H),A	B、C口为输出口	0002	D3 03
3		LD	SP,0700H	设置堆栈的地址号为0700	0004	31 00 07
4		LD	A,00H	将初始状态从B、C口输出	0007	3E 00
5		OUT	(01H),A		0009	D3 01
6		LD	A,00H		000B	3E 00
7		OUT	(02H),A		000D	D3 02
				(NO;8～71)		
8	START	LD	B,40H	开始顺时针行驶的处理：B寄存器：输入的比较数据	000F	06 40
9		LD	C,28H		0011	0E 28
10		LD	D,02H	C寄存器：B口的输出数据	0013	16 02
11		CALL	SYORI	D寄存器：C口的输出数据·SYORI：数据处理的程序	0015	CD 5C 00
				(以下相同)		

续表 1

No	标记	指令	操作数	说　明	地址	机器码
12		LD	B,04H	进入区间 3 时的处理（顺时针绕圈行驶）	0018	06 04
13		LD	C,0A2H		001A	0E A2
11		LD	D,0CH		001C	16 0C
15		CALL	SYORI		001E	CD 5C 00
16		LD	B,01H	进入区间 1 时的处理（顺时针绕圈行驶）	0021	06 01
17		LD	C,0CCH		0023	0E CC
18		LD	D,06H		0025	16 06
19		CALL	SYORI		0027	CD 5C 00
20		LD	B,10H	进入站台区间时的处理	002A	06 10
21		LD	C,00H		002C	0E 00
22		LD	D,00H		002E	16 00
23		CALL	SYORI		0030	CD 5C 00
24		CALL	TIM	暂停的时间处理	0033	CD 69 00
25		LD	A,03H	开始逆时针行驶时的处理	0036	3E 03
26		OUT	(02H),A		0038	D3 02
27		LD	A,0F5H		003A	3E F5
28		OUT	(01H),A		003C	D3 01
29		LD	B,04H	进入区间 3 时的处理（逆时针绕圈行驶）	003E	06 04
30		LD	C,7FH		0040	0E 7F
31		LD	D,0EH		0042	16 0E
32		CALL	SYORI		0044	CD 5C 00
33		LD	B,01H	进入区间 1 时的处理（逆时针绕圈行驶）	0047	06 01
34		LD	C,0FFH		0049	0E FF
35		LD	D,0BH		004B	16 0B
36		CALL	SYORI		004D	CD 5C 00
37		LD	B,20H	进入站台区间时的处理	0050	06 20
38		LD	C,00H		0052	0E 00
39		LD	D,00H		0054	16 00
40		CALL	SYORI		0056	CD 5C 00
41		JP	START	·返回到开始顺时针行驶时的处理	0059	C3 0F 00
42	SYORI	IN	A,(00H)	数据处理子程序： ·将 A 口的输入数据与 B 寄存器的数据相比较(减法)，若相同(结果为 0)，则将 D 寄存器中的数据从 B 口输出；将 C 寄存器中的数据从 C 口输出	005C	DB00
43		SUB	B		005E	90
44		JP	NZ,SYORI		005F	C2 5C 00
45		LD	A,D		0062	7A
46		OUT	(02H),A		0063	D3 02
47		LD	A,C		0065	79
48		OUT	(01H),A		0066	D3 01
49		RET			0068	C9
50	TIM	LD	E,04H	时间处理子程序： ·当微机的时钟脉冲为 1MHz 的场合下，延时约为 3 秒	0069	1E 04
51	T2	LD	H,0FFH		006B	26 FF
52	T1	LD	L,0FFH		006D	2E FF
53		DEC	L		006F	2D
54		JP	NZ,T1		0070	C2 6D 00
55		DEC	H		0073	25
56		JP	NZ,T2		0074	C2 6B 00
57		DEC	E		0077	1D
58		JP	NZ,TIM		0078	C2 69 00
59		RET			007B	C9

表 2　输入输出数据

口		A 口(输入)									B 口(输出)									C 口(输出)								
位号		7	6	5	4	3	2	1	0	输入数据十六进制	7	6	5	4	3	2	1	0	输出数据十六进制	7	6	5	4	3	2	1	0	输出数据十六进制
		按钮开关 ST1	按钮开关 ST2	簧片开关 SR2	簧片开关 SR1	区间传感器 S4	区间传感器 S3	区间传感器 S2	区间传感器 S1		区间 4		区间 3		区间 2		区间 1							转辙器 2 RP2	转辙器 1 RP1	站区间		
											电源 R4	方向 RH4	电源 R3	方向 RH3	电源 R2	方向 RH2	电源 R1	方向 RH1								电源 R5	方向 RH5	
初始状态		0	0	0	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	00
顺时针方向行驶	开始行驶	0	1	0	0	0	0	0	0	40	0	0	1	0	1	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0	1	0	02
	进入区间 3	0	0	0	0	0	1	0	0	04	1	0	1	0	0	0	1	0	A2	0	0	0	0	1	1	0	0	0C
	进入区间 1	0	0	0	0	0	0	0	1	01	1	0	1	0	1	0	1	0	CC	0	0	0	0	0	1	1	0	06
	进入站台	0	0	0	1	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	00
逆时针方向行驶	开始行驶	0	0	0	0	0	0	0	0	00	1	1	1	1	0	1	0	1	F5	0	0	0	0	0	0	1	1	03
	进入区间 3	0	0	0	0	0	1	0	0	04	0	1	1	1	1	1	1	1	7F	0	0	0	0	1	1	0	1	0E
	进入区间 1	0	0	0	0	0	0	0	1	01	1	1	1	1	1	1	1	1	FF	0	0	0	0	1	0	1	1	0B
	进入站台	0	0	1	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	00
结束，待机		0	0	0	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	00

开关：(ON＝1；OFF＝0)

行驶方向：(顺时针＝0；逆时针＝1)

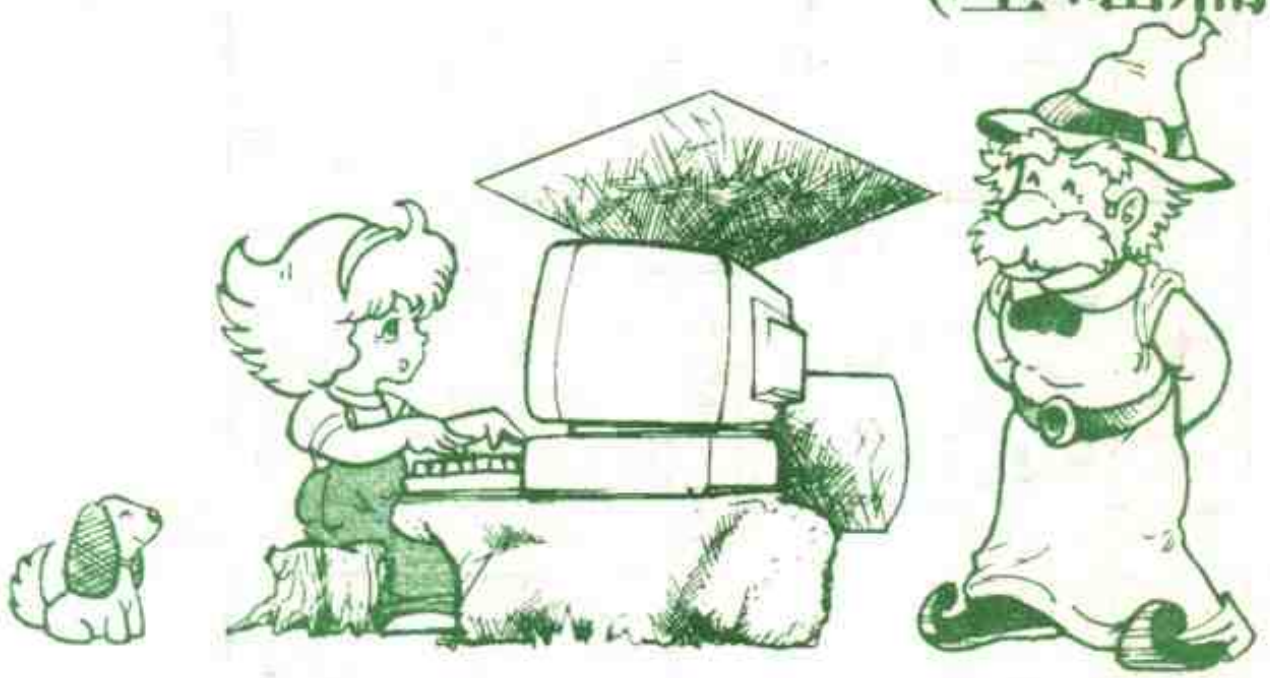
电源：(启动＝1；停止＝0)

区间传感器：(有车进入＝1；无车进入＝0)

转辙器：(A 侧＝0；B 侧＝1)



第3章
使用个人计算机的简单控制入门(基础篇)



本章的学习内容

在控制机械中安装计算机，是实现当今世界所提出的省力化、自动化、无人化等要求的最佳选择，它以FA（工厂自动化）的形式，在设计、研究、检验、生产管理和物流等领域中迅速地扩展，并在制造工程中占据重要的地位。

能运用这种计算机控制的机械，对工业技术学者或现场的技术人员都是很重要的。为了充分发挥计算机控制的作用，掌握基本知识，是非常重要的。

如果一开始就接触难懂的知识，则会觉得难以消化吸收。所以先学习基础的东西，像小学生“识字”那样，从基础的“读、写、算”开始。

在学习计算机的入门阶段，需要一边学习理论，一边进行切身体验，这是进入下一步学习前必不可少的阶段。

这一章里，作为切身体验计算机的入门阶段，其目的是以常见的个人计算机PC98为基础，学习计算机控制中必须的“接口制作”，并利用它来控制简单的“LED点亮/熄灭电路”等内容。

1 制作接口



Ⅰ 个人计算机控制的普及

我们身边随处可见的洗衣机、电冰箱、电饭煲等家电产品，都应用了微机控制或计算机控制。

在工厂中，机器人代替了工人，它以指示灯的点亮/熄灭代替了出汗的同时，时快时慢地像人一样地工作。

机器人的移动、张开机械手、移动手腕等动作和当温度高时打开电风扇等的控制，是可以通过它们与计算机之间的某种设定来实现的。下面利用人们常用的台式计算机和掌上电脑，通过实际制作接口电路与驱动部分的执行机构，来进行系统的介绍。

Ⅱ 个人计算机控制的结构

大家已经学过一些微机的知识，在这里，通过图 1 所示机械手的动作，再一次来体会一下个人计算机控制的构思过程。

机械手的动作必须由个人计算机发出命令，但它所发出的命令是不能直接使机械手动作的，需要在机械手与个人计算机之间加入接口，通过接口使来自个人计算机的输出信号转换为能使驱动装置动作的控制信号，并且接口也起传输信号的中介作用，即把来自机器人等控制对象的控制状态信号反馈给计算机，或者把这种信号变为经计算机处理后的输出信号。

从根本上来说，个人计算机控制需要的就是编制能让个人计算机、接口、驱

动部分按要求进行工作的程序。

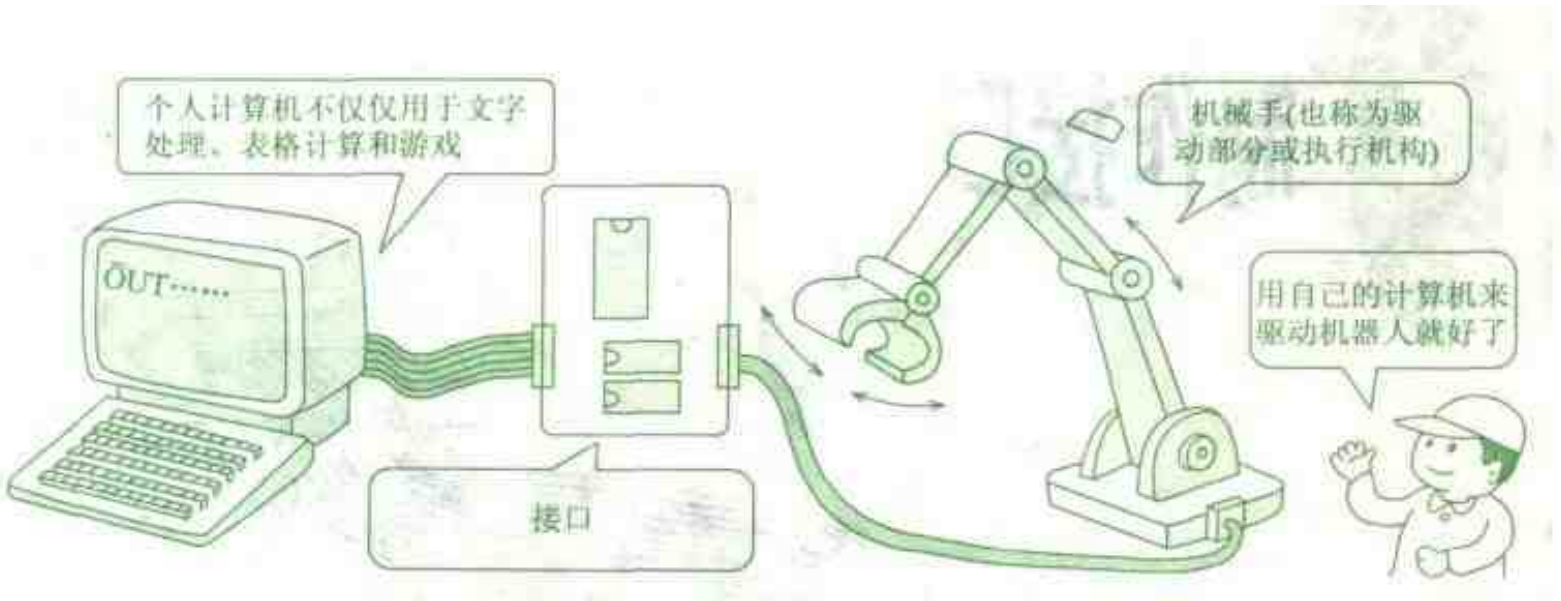


图 1　个人计算机的控制(机械手驱动)的构思

Ⅲ　接口系统

图 2 为计算机与接口以及作为执行机构的电动机驱动电路连接的例子。

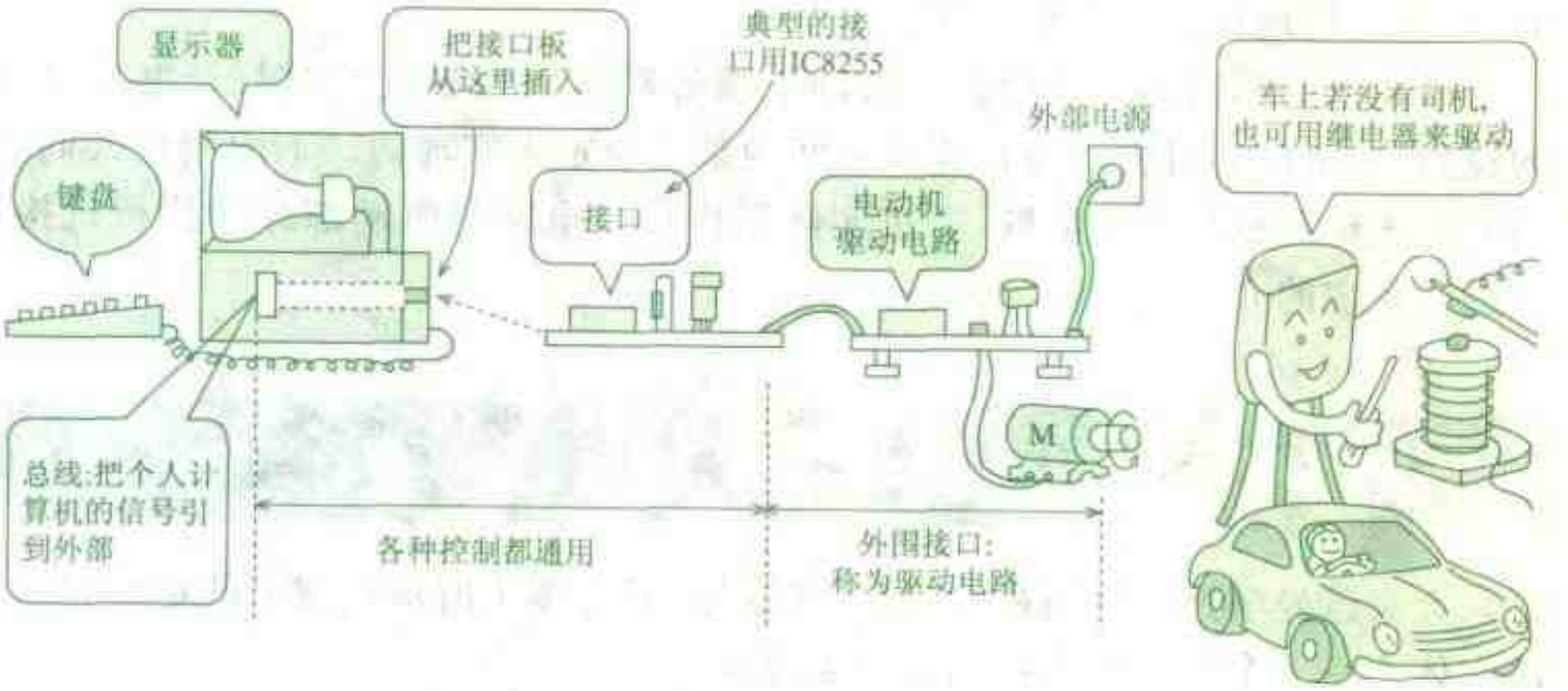


图 2　个人计算机与接口的连接

如图 2 所示,与个人计算机的连接是将接口板(I/O 板＝输入输出板)插入机箱内部的扩展槽里。通过这块板,将信号线引出来,连接到驱动电路(参见图 5)。

若接收到来自 CPU 的“ON”命令,通过接口转换为图 2 所示的驱动电动机

的控制信号(AC100V 等的 ON 或 OFF),就能控制电动机旋转。

驱动电路可根据控制对象的不同进行某些变动,但对于各种各样的执行机构的来说,其接口都可以做成通用的。

再则,接口是个人计算机控制的重要部分,把接口后面与驱动部分相联系的电路部分,均称为"外围接口"。就是使驱动部分工作的电路,也称驱动电路。例如步进电动机或继电器等,作为控制对象都要根据控制对象选用适当的驱动电路。

如此说来,我们就更有必要来动手制作个人计算机控制用的关键部分——接口了。

Ⅳ 接口的制作

个人计算机有许多类型,现以最常用的 NEC 公司制造的 PC-9801 为例进行介绍。

因为它的基本电路结构也是与其他个人计算机相同的,所以只要考虑按它的各种信号线来使用就行了。

根据需要,也会介绍一些有关其他计算机控制的内容。

查阅硬件手册

在购买个人计算机时都附带有硬件手册、说明书或 BASIC 手册等,拿到手后必须翻开认真阅读,有时会发现手册内容有出入,那有可能是多个人装箱时造成的差错。刚开始制作接口的人,手头必须有硬件手册,以便一边查阅,一边确认硬件,应在真正理解的基础上开展工作。

据说,有许多所谓的使用方法对接口来说是非常危险的。从扩展槽里引出的信号线的数量很多,有标记 A 与标记 B 各 50 根。若不小心,电源的正、负极接错,则会损坏个人计算机。

您如果从现在开始使用个人计算机,务必仔细查阅以下的有关内容:

① 系统概要的页码

首先要查阅系统的方框图,找出所带扩展槽的位置。

② 槽的信号的页码

在查阅手册上的扩展槽的信号时,要从图 3 所示的角度去看。并且,槽的管脚的排列位置如图 4 所示。



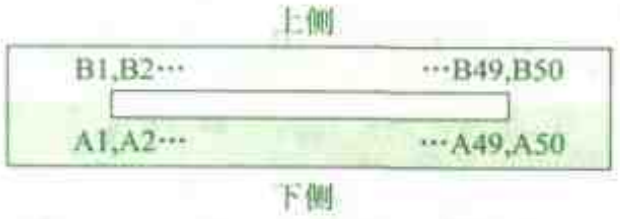


图 3　PC98 槽的管脚排列

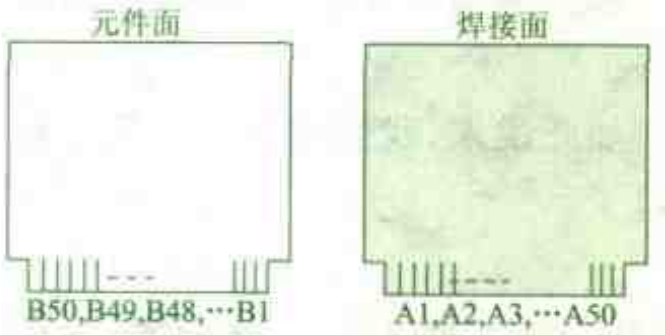


图 4　PC-9801 扩展槽总线的连接

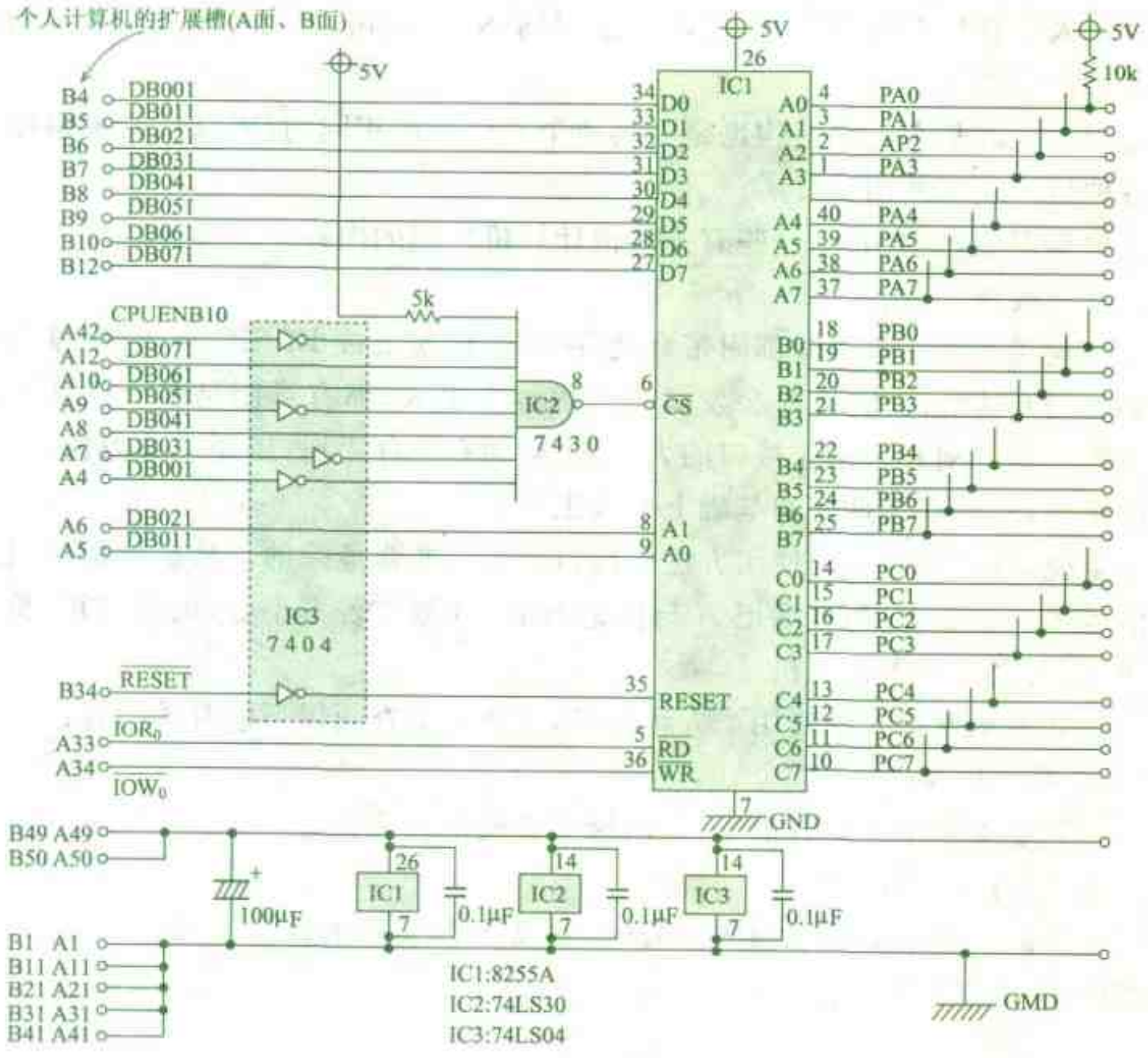


图 5　接口电路图

③ 增设扩展槽的页码

这里也会说明要增设扩展板时的步骤等内容。

PC-9801 所用的接口电路图及其有关资料如图 5、图 6 所示。

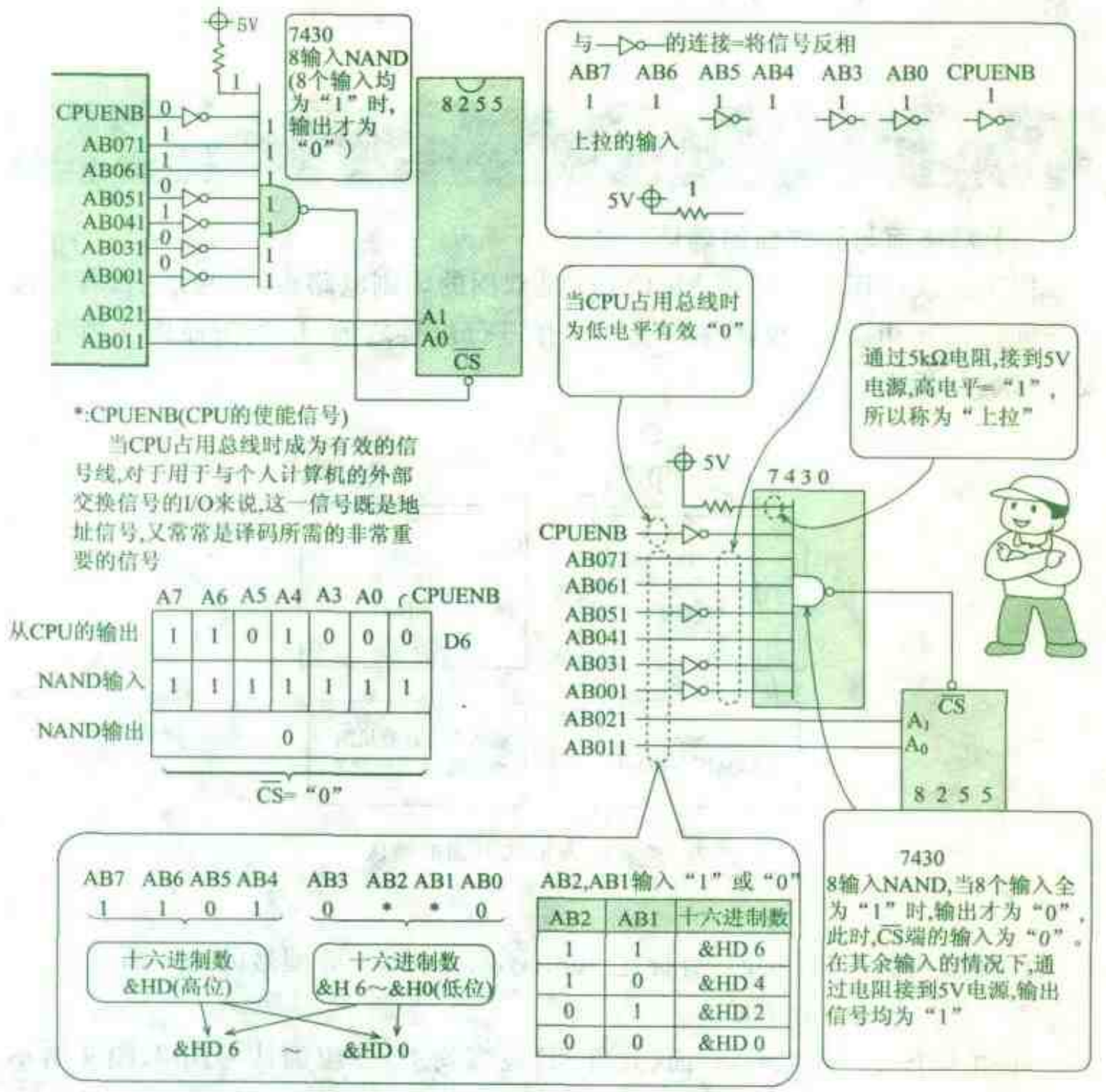


图 6 接口电路图的资料

④ I/O 口地址页码

另外介绍一下在计算机的控制接口中,用户能自由使用的 I/O 口地址有哪些等内容。

PC-9801 VM 用户可使用的地址为从 &HD0 到 &HDF,和 &HE0 到 &HEF(&H 的意思是十六进制数)两个区域。除此之外的地址,都已被系统占

用,用户是不能使用的。

像这样的接口控制所必须的数据,手册上都是有的,应把手册备在身边随时查阅。尤其是当你要进行接口控制时,有不懂或记不清楚之处,就应查阅手册或数据表。在请教别人之前,先自己查阅是一种良好习惯。这是应当牢记的准则。

V 配线的顺序

(1) 焊接面与元件面的确认

因为这次使用的扩展板 MCC-193 是双面的印刷电路板,容易混淆,若焊接面与元件面互相搞错,板就要报废了。在进行焊接之前,应当按照图 7 所示的要领来确认板面。

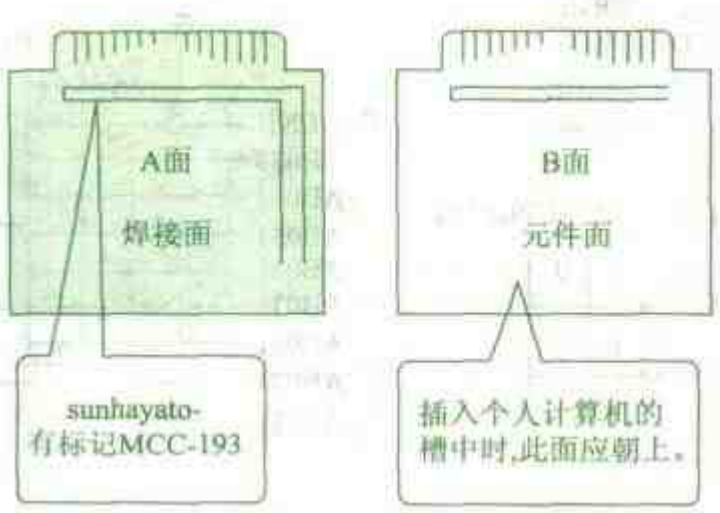


图 7 扩展板 A 面和 B 面的确认

扩展板 A 面:焊接面,有标记 sunhayato-MCC-193 型号的这一面。

B 面:元件面。

在插入个人计算机时,B 面(元件面)应当朝上,并应确认与图 3、图 4 所示的个人计算机槽的管脚排列相一致。

(2) 元件的总体布局

在扩展板上,配置主要的元件,应注意以下几点:

① 插入的深度,是否便于焊接;

② 如图 8 所示,当扩展板插入个人计算机时,是否会碰到元件;

③ 从接插件引出的扁平电缆处有无障碍;

④ 有无增加元件的可能性。

可一边考虑，一边进行元件布局。

这次制作 8255 接口的主要元件是 40 管脚的 8255 和另外两个集成电路，所以安装空间是足够的。

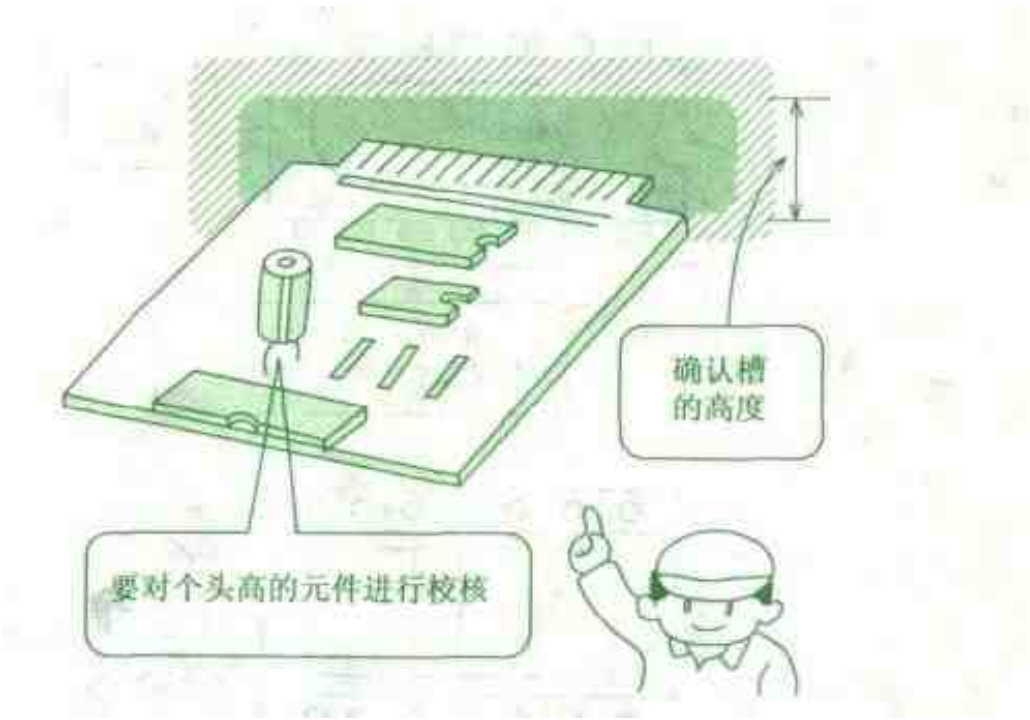


图 8　元件大小的校核

对于 16 位的 PC 9801 计算机来说，这次要做的是一个 8255 的 8 位接口，考虑要为扩充成 16 位留出地方，所以把接口的元件安排在基板的一边布局。

图 9 表示全部元件布局的例子。

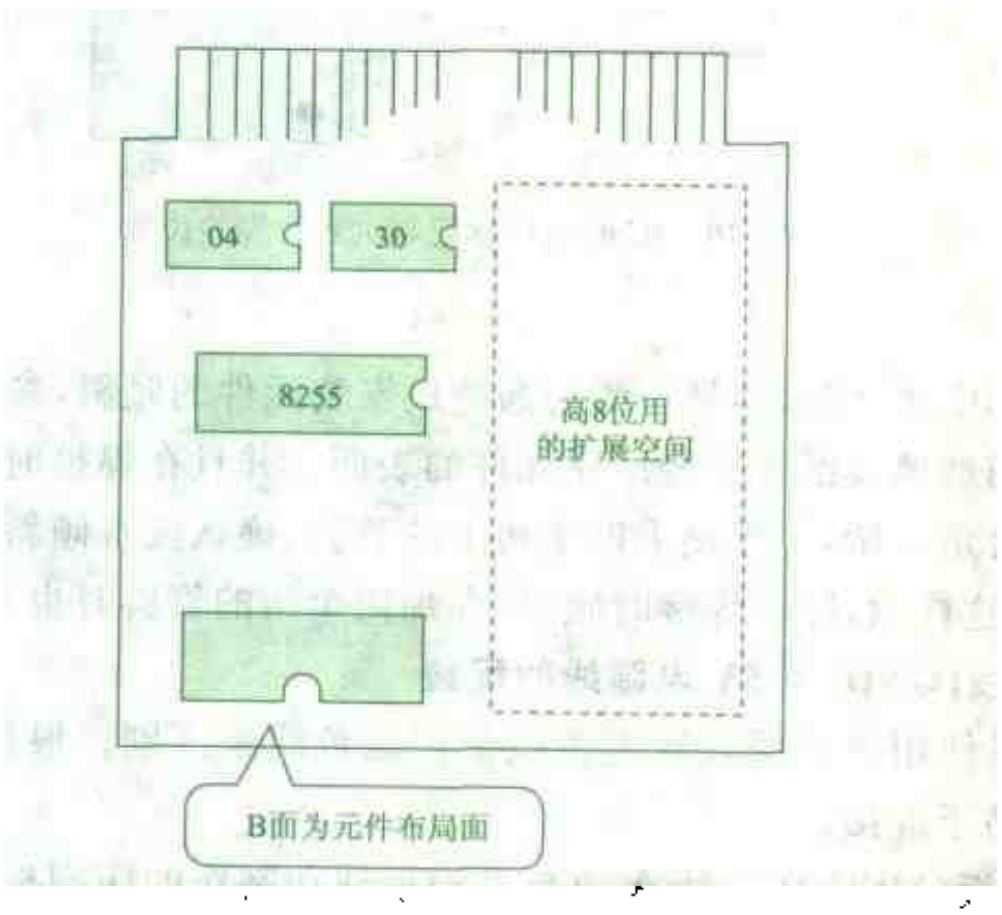


图 9　全部元件的布局图

(3) IC 底座管脚的焊接

IC 的安装方向如图 10 所示，要核对缺口(标记)。

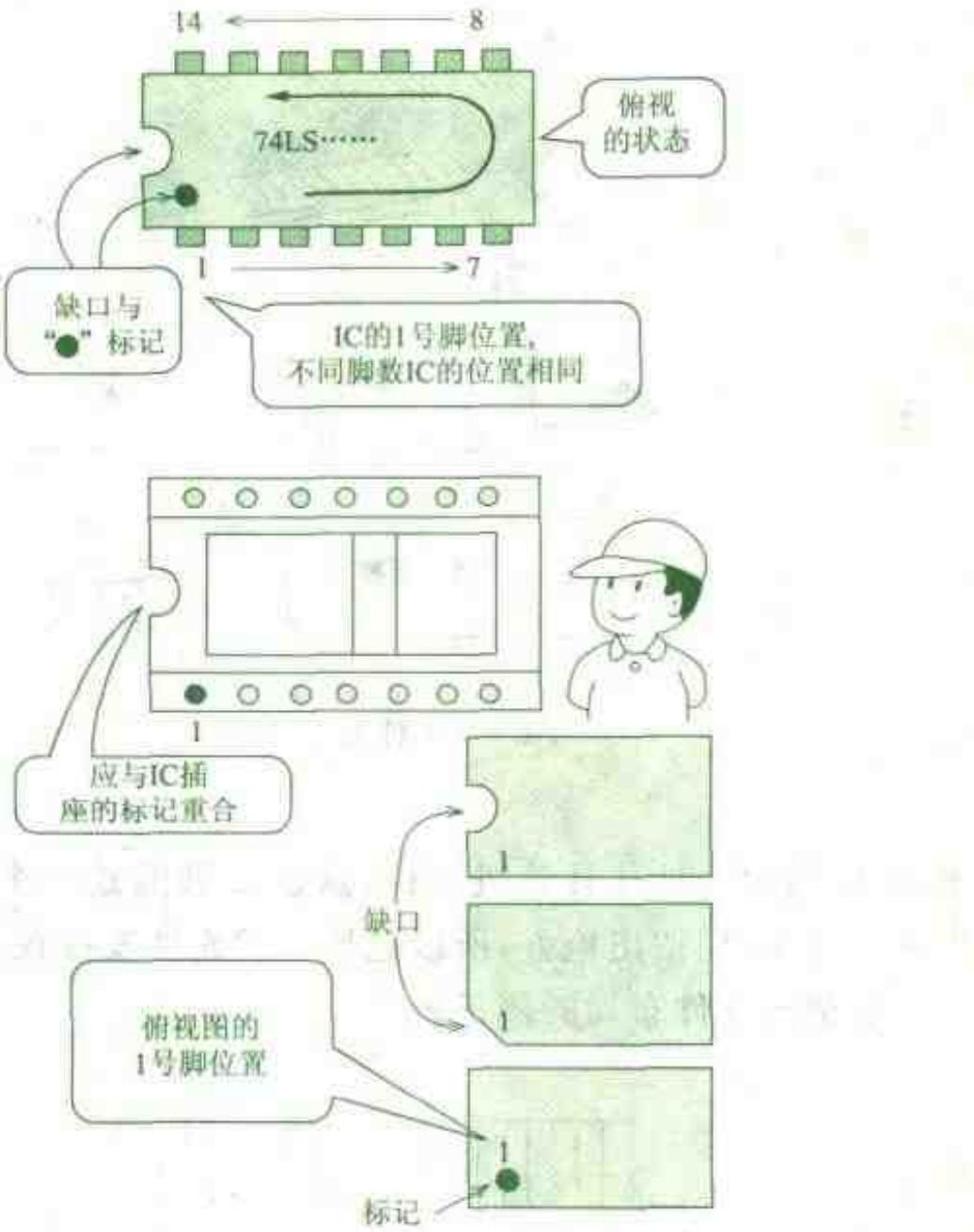


图 10　IC 的缺口标记与 1 号管脚的位置

在焊接 IC 底座时，容易一侧抬高造成安装元件的倾斜，参见图 11。为防止这一点，可用玻璃胶纸等轻轻压住元件的表面。并且在焊接时，应当如图 11 所示，首先从对角开始，先焊接上四个角上的管脚，确认没有倾斜后再焊接其他剩下的管脚。这样做，即使焊接时倾斜，在焊四个角的管脚时也易于矫正。

(4) 地线(GND)及 5V 电源线的配线

GND 线使用黑色线，5V 电源线使用红色线来区别。根据需要，可用镀锡线来配线，易于焊接。

因扩展板(MCC-193)是 A 面与 B 面成通孔制作的印刷板，在需要时，也可使用 B 面周围的印刷板面。由于扩展板(MCC-193)的电源是通过印刷电路板

来配线的，所以制作很方便。

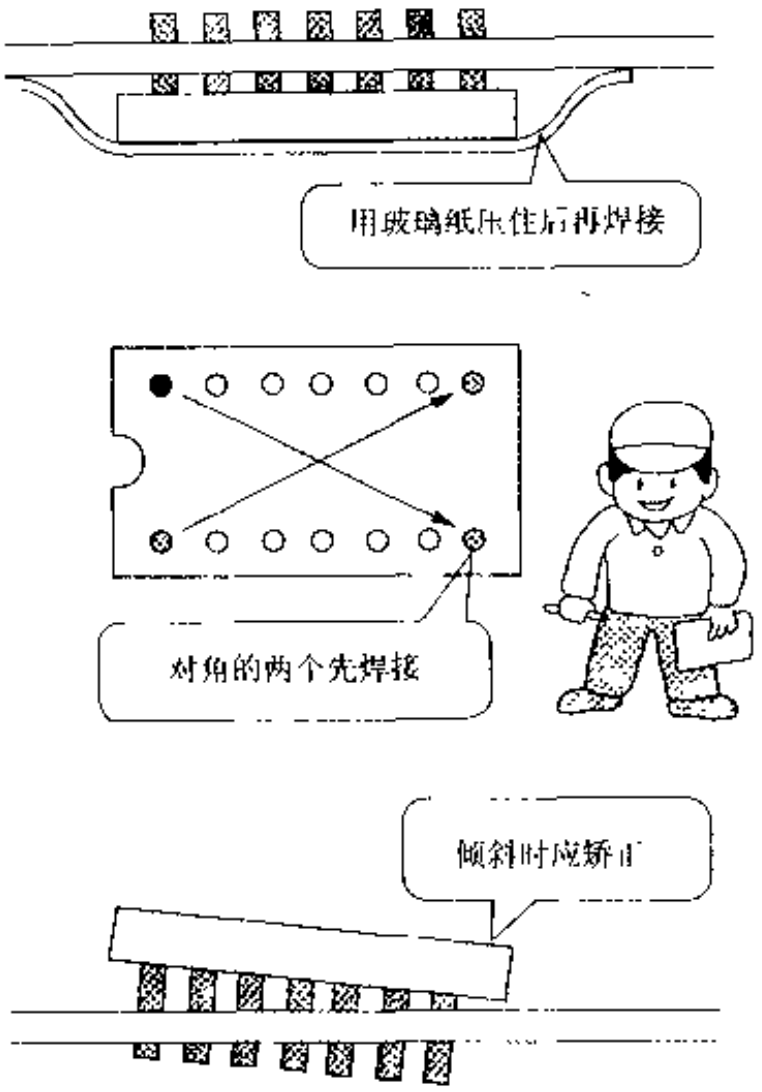


图 11 IC 的焊接

(5) IC 驱动用电源线的配线

若只连接 IC 的信号线，是不能工作的。为使 IC 工作，就得将电源线、地线按图 12 所示的 IC 底座的间隔，用镀锡线来进行配线。并且，用这种方法配线的话，因电源线的走线非常整齐，所以不管装了几个 IC，以后若要加装 IC 的旁路电容都很容易。

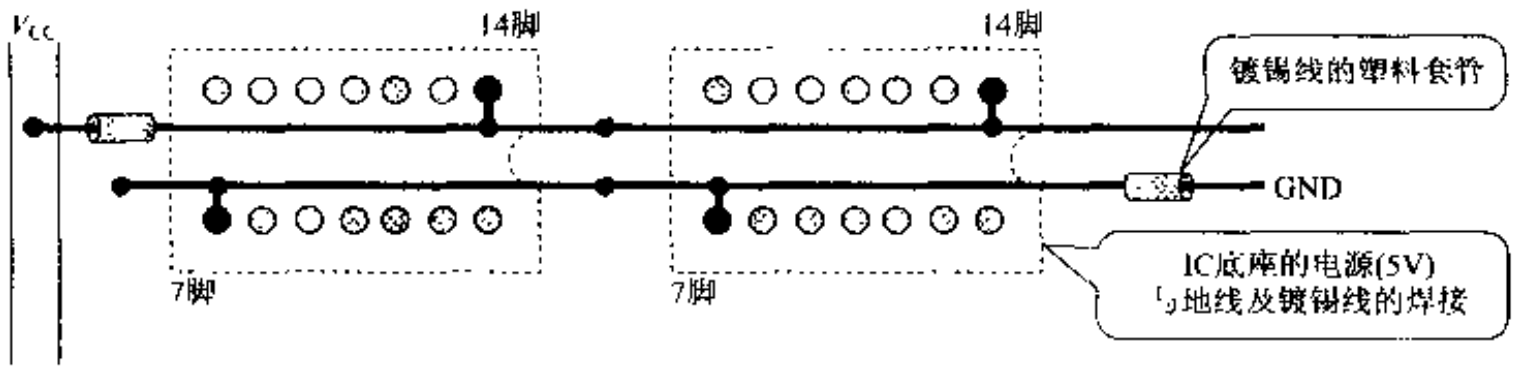


图 12 电源线的配置

镀锡线的间隔为3cm左右,为了防止把焊锡挂在印刷电路板上,应考虑先将5V电源线与地线分别穿入红与黑的塑料套管中。

不要忘记给8255的电源线进行配线。

必须注意,若不小心在印刷电路板的两侧挂上焊锡,扩展板就可能插不进扩展槽中。

(6) 与地线(GND)的连接

IC7404的7号管脚;

IC7430D的7号管脚;

8255的7号管脚;

电解电容的负极(有极性)。

到现在为止,锡焊工作已经完成,要通过实验来检验与5V电源线的接触是否良好,是否有错焊的地方。

(7) 与5V电源线的连接

IC7404的14号管脚;

IC7430的14号管脚;

8255的26号管脚;

电解电容的正极。

下面,如图13所示,对电源线进行检验。当全部的信号线完成配线之后,尤其要注意对电源线进行检验。

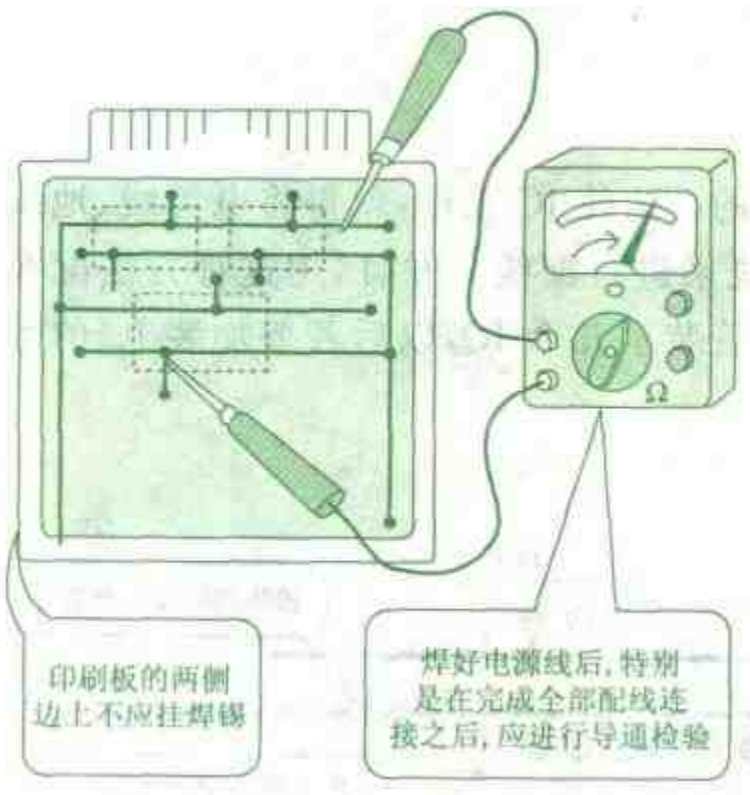


图13　电源线的检验

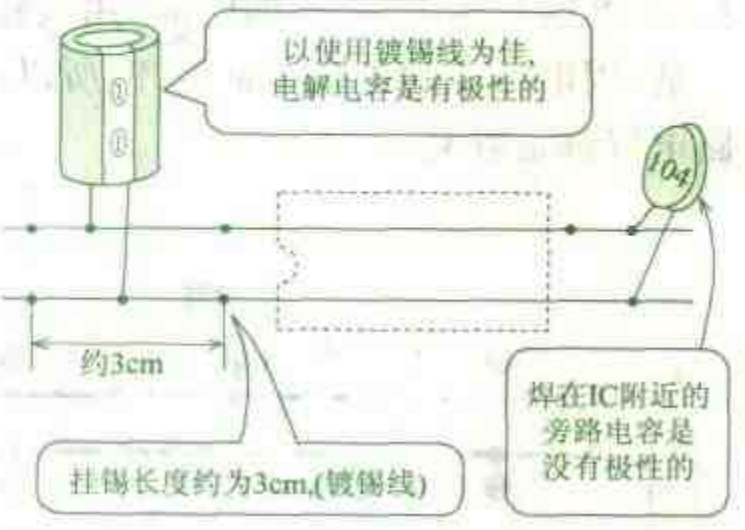


图14　旁路电容的焊接

(8) 个人计算机的焊接

为了防止 IC 的误动作，要在个人计算机上设置旁路电容。如图 14 所示，利用镀锡线来设置电源，能够很方便地将电容焊接到个人计算机上。

旁路电容用 0.1μV 左右大小的陶瓷电容器就行了。因这种电容没有极性，所以可焊接在以下三个 IC 的附近：

IC7404；

IC7430；

8255。

(9) 上拉电阻用 10kΩ 排阻来安装

排阻的元件数有 4 个、8 个两种类型，这里用的是 8 个元件型。

来自 8255 的上拉电阻引脚处，8 元件的排阻，在印刷电路板的焊点中占一列的位置，可错开连接(参见图 15)。

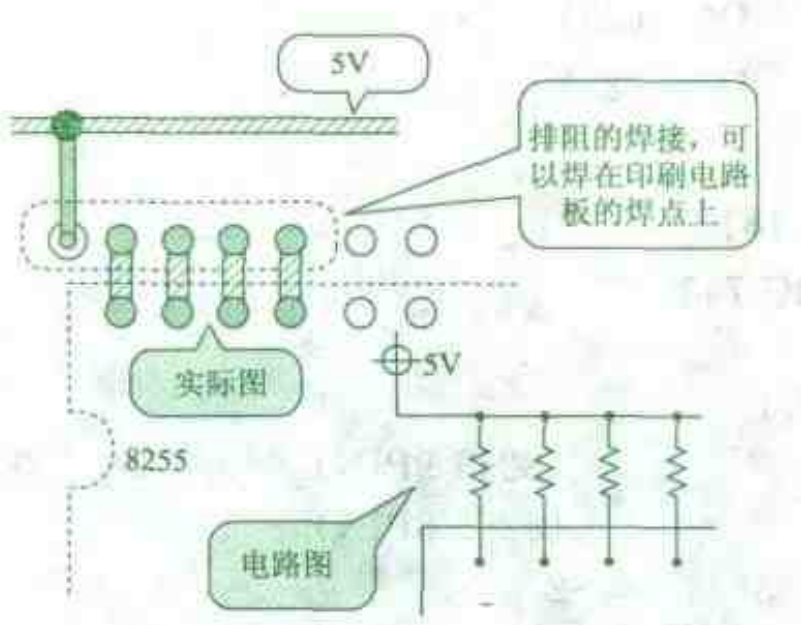


图 15 排阻的安装

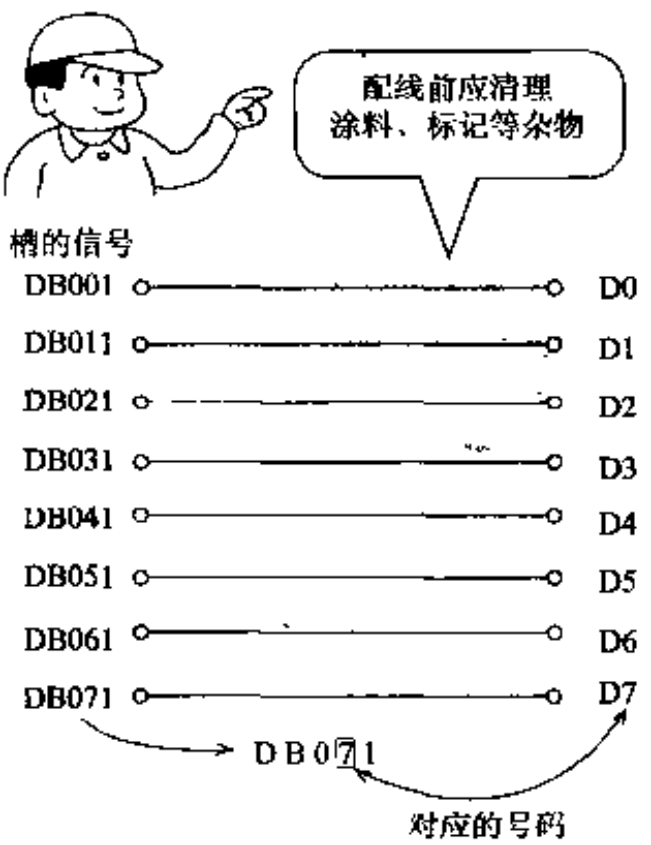


图 16 数据线的连接

此时，只要使用如图所示的与 8255 相邻的焊点，就可用焊锡将各自所要连接的引脚连接起来。排阻公共点为公用的意思，可以接电源或接地。这里接的是 5V 电源的镀锡线。

到此为止，已经完成了主要元件的安装，下一步就可以进行 IC 和插槽信号线的焊接了。

(10) 数据线的连接(参见图 16)

扁平电缆的外皮颜色应当与信号的顺序相对应来焊接。数据线在 B 面(朝上的面),从 A 面(下面)通过焊点的孔引出来。接着,依次表示扁平电缆的外皮颜色(如下图所示,与电阻的色环码相同)。



个人计算机的信号	8255 的管脚
DB 001(B 4)	黑　D0　(34)
DB 011(B 5)	棕　D1　(33)
DB 021(B 6)	红　D2　(32)
DB 031(B 7)	橙　D3　(31)
DB 041(B 8)	黄　D4　(30)
DB 051(B 9)	绿　D5　(29)
DB 061(B 10)	蓝　D6　(28)
DB 071(B 12)	紫　D7　(27)

应当先依次确认信号线后再焊接。

(11) 地址线的连接(参见图 17、图 18)

个人计算机的信号	IC 7404	IC 7430	
AB 001	(A 4)黑	1—2	1
AB 011	(A 5)棕		(8255 9PIN)
AB 021	(A 6)红		(8255 8PIN)
AB 031	(A 7)橙	3—4	2
AB 041	(A 8)黄		3
AB 051	(A 9)绿	5—6	4
AB 061	(A 10)蓝		5
AB 071	(A 12)紫		6
CPUENB10	(A 42)白	13—12	7
RESET	(B 34)白	11—10	(8255 35PIN)

:此标记中的数字是 IC 7404 的引脚编码。

$\overline{IOR_0}$　(A 33)灰　(8255 5PIN)

$\overline{IOW_0}$　(A 34)灰　(8255 36PIN)

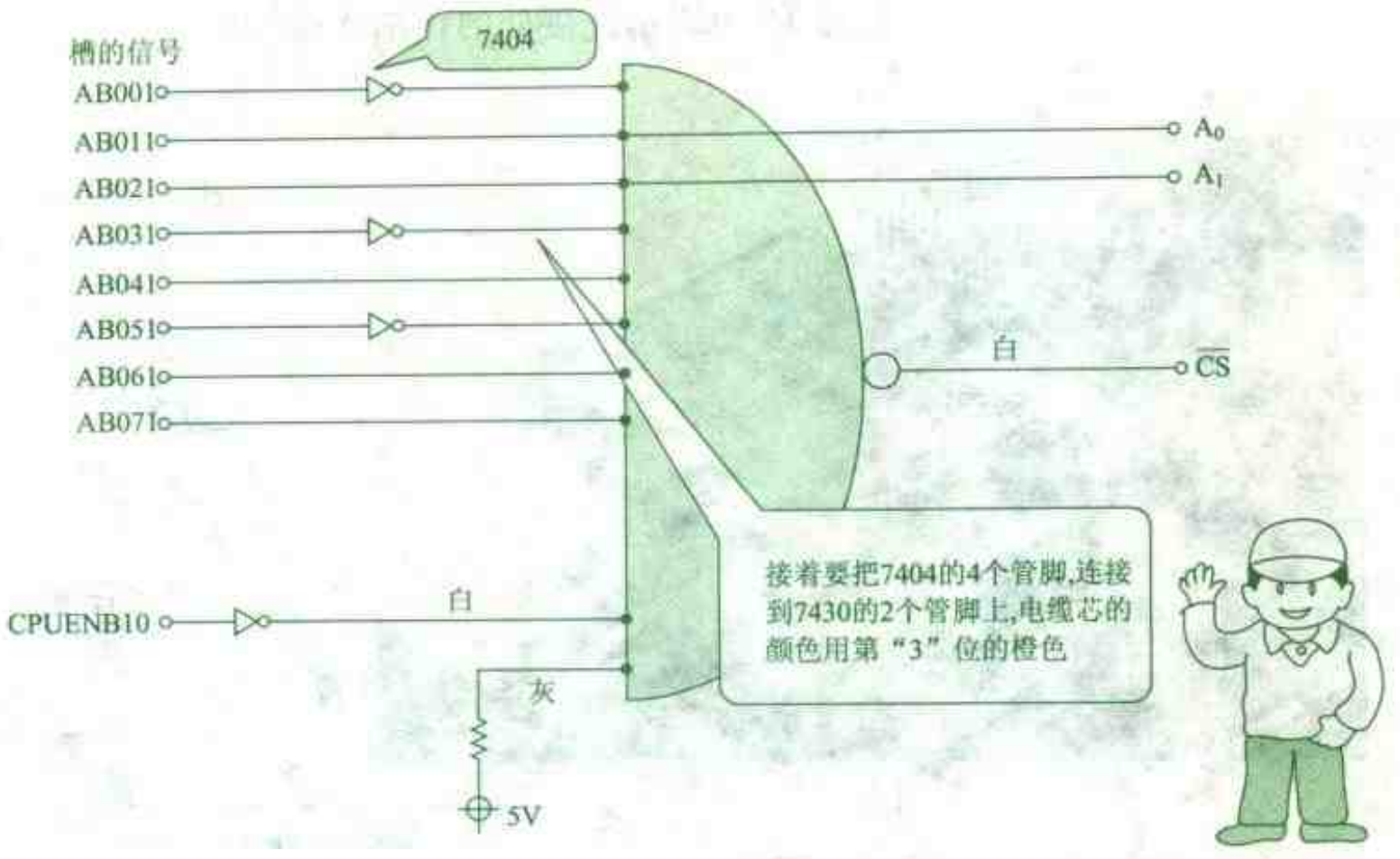


图 17 地址线的连接

CPUENB、RESET、$\overline{IOR_0}$、$\overline{IOW_0}$等配线所使用的,扁平电缆的颜色,要用 0～7 色号之外的其他颜色(灰、白)。

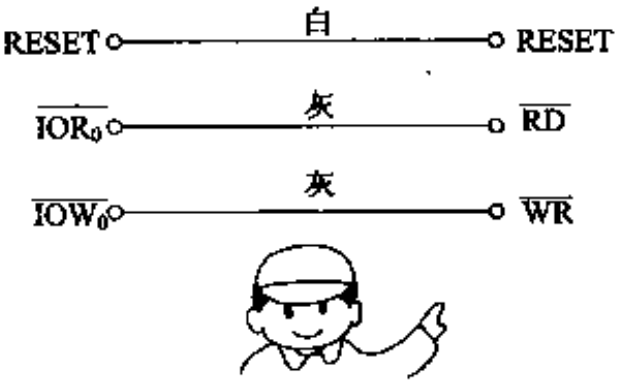


图 18 其他线的连接

IC 7430 的 8 条输入线,还剩下 1 条(8PIN),要把它通过 5kΩ 的电阻,接到 5V 电源上。

(12) 7430(NAND)与 8255 的$\overline{CS}$脚的连线(参见图 17)

用白色的线连接。至此,8255 的配线已全部结束。

IC 的 5V 电源与 GND 的配线,已经用镀锡线连接好了。必须检验这一阶段的配线是否正确无误,焊点的接触是否良好。

(13) 扩展板上信号的引出

扩展板上的信号通过连接监视器用的 30 线扁平电缆来引出。

(14) 往扩展板上的连线

通过扁平电缆将扩展板与 LED 监视器(参见本章第 2 节)相连接。接通 5V 电源与 GND(地),并通电。若此时全部 LED 点亮,就可以说基本上已经一切就绪了。

再下一步是个人计算机与扩展板的连接。初次对自制的控制基板通电,心

里总有些紧张，为此，下面介绍图 19 中表示连接处的详细连接顺序。

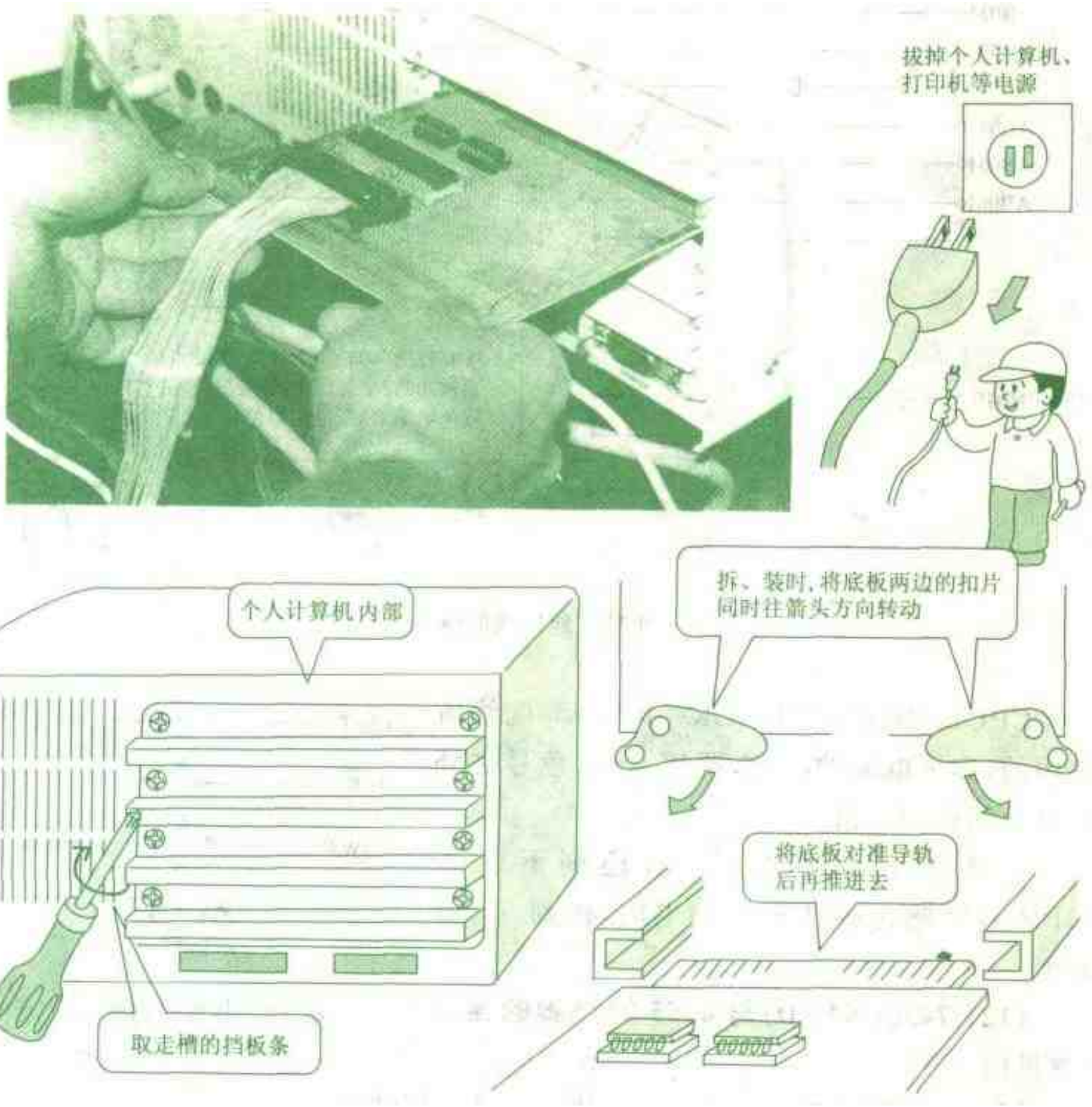


图 19　扩展槽的插入

① 切断个人计算机及打印机等外围设备的电源。

② 卸下扩展槽所对应的挡板条。

③ 插人扩展板。

扩展板的上面为元件的安装面(B 面朝上)。往扩展槽内看，可以见到槽两端的插人扩展底板用的导轨。应将镀金的 50 脚梳子形扩展底板沿着扩展槽边均匀地插人。为了确保可靠地插人 50 脚的插座中，应当推至感觉到扩展板被扣住为止；

④ 在取出扩展板时，要先将扩展板两端的扣片往外打开，这样就易于将底板的 50 个针脚从插座中拔出来。

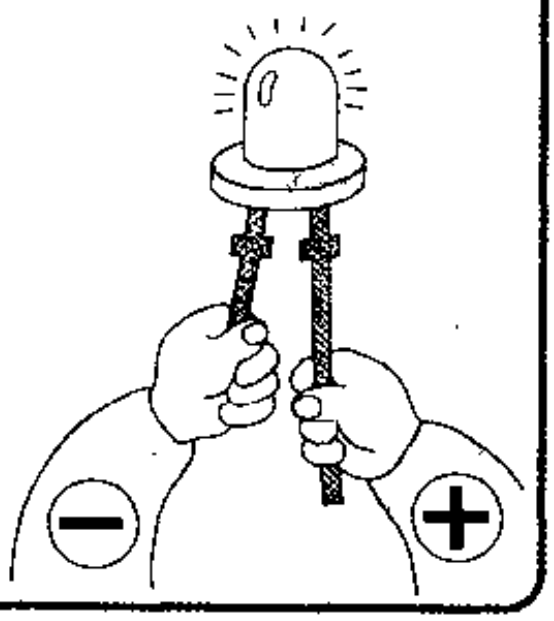
扩展板带有两个扣片，是购买扩展板时带来的，注意不要随意丢失。应当将扣片安装孔和扩展底板的安装孔对准，然后再用扁平电缆的压线钳，将附带的针脚压入扩展板；

⑤ 接通个人计算机的电源。

现在，接通个人计算机的电源，若个人计算机上显示出开机信息："How many files ?"就表明计算机工作正常。但是，若无法运行 BASIC 程序或感到有异常气味或声音时，应当立即切断电源，一旦出现这类异常情况，就应当对扩展板进行更仔细的检查。

⑥ 切断个人计算机的电源，接入 LED 监视器后，重新接通电源。当 LED 全部点亮，BASIC 程序也能正常启动，你的控制专用接口就制作成功了。

2 LED接口监视器



I　用 LED 来制作接口监视器

如图 1 所示,在接通开关时,要用眼睛来观察“电源是否接通”的指示灯,其灯光虽小,但作为监视电流用的指示灯是必不可少的。

当你在个人计算机的软驱中换软盘时,闪亮的 LED 小光点,可让使用者感觉到个人计算机在工作的同时,还能确认你正在与计算机进行正常的交流,非常方便实用(参见图 2)。

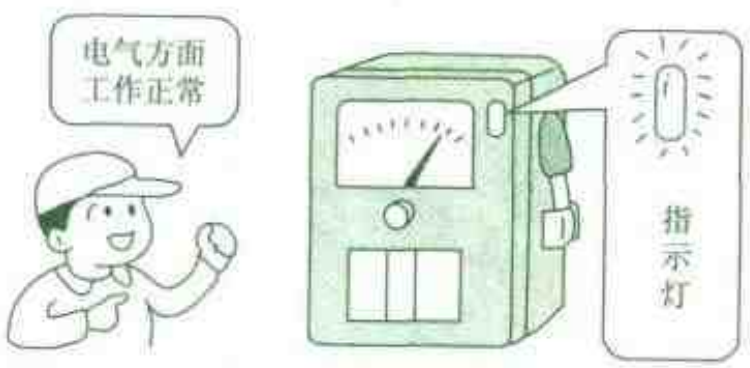


图 1　开关盒的指示灯



图 2　软驱上的 LED

在接口的控制中也同样如此,来自计算机的信号通过接口正确地送往继电器、螺线管或电动机等驱动部分(执行机构);然后,若要判断来自传感器等的外

部信号是否已正确地通过接口进入了计算机，也必须进行监视。为此需要制作能用肉眼来判断LED(通/断)高/低电平的信号监视电路(以后通称为接口监视电路)。

接口监视电路中的LED点亮/熄灭控制信号"1"与"0"即表示接口电平的高/低。因此可用于组合电路时的电路检验，并且能用肉眼跟踪程序的流程，也可用于控制部分动作不正常时的检查。在制作接口时，一定要装上接口监视电路。在这里，是把来自接口的信号分别组合到电路基板上的。

LED(即发光二极管)是一种指示元件，如图3所示，是一种当从其正极到负极(称为正向)流过电流时就会发光的二极管。发光的颜色有红色、橙色、绿色等数种。

图4表示接到个人计算机接口电路上的LED监视电路。



图3 LED的极性

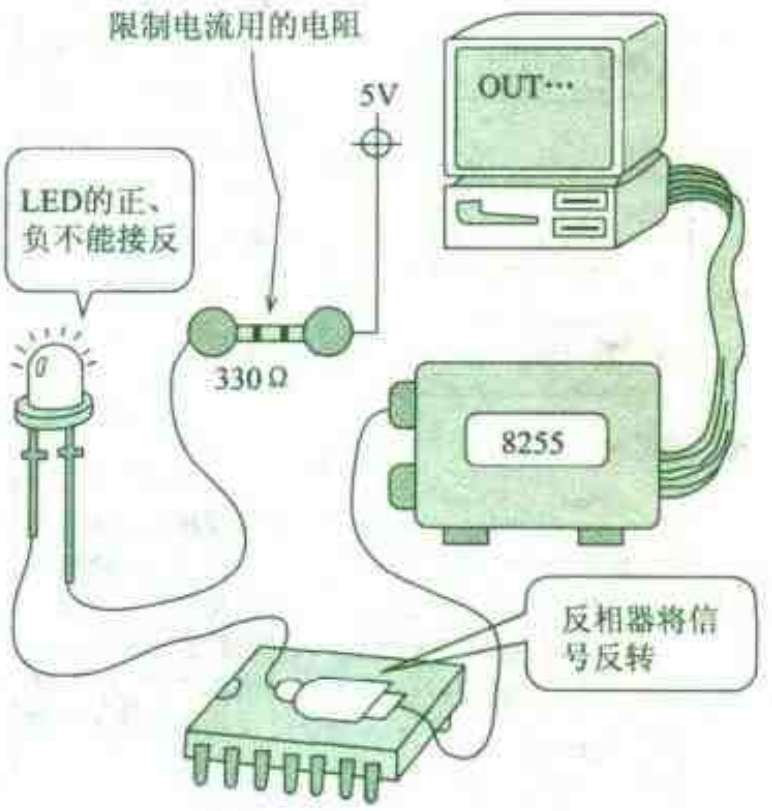


图4 LED的实体图

Ⅱ LED的点亮电路

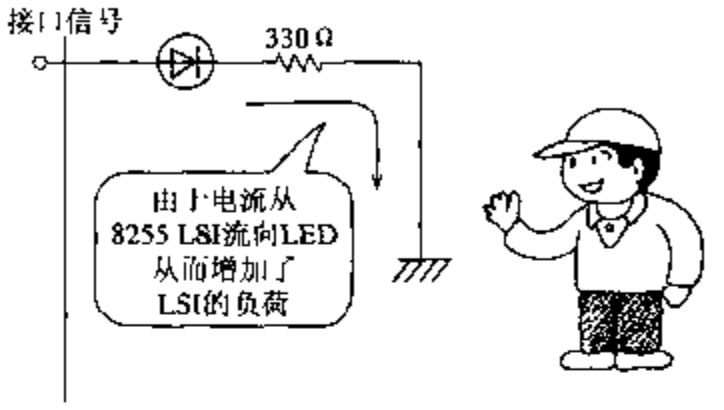
LED的基本动作为：

接口信号"1"　　LED点亮

接口信号"0"　　LED熄灭

若要设计图5所示的LED电路，则由于此电路的LED在发光时，电流要

从8255 LSI流到LED,会增加8255 LSI的负荷。所以应当如图4所示,在设计时就考虑用外部电源来对它供电。



在外部电源供电的情况下,由图可知,当接口信号为"1"时,LED与"电源电压5V"之间没有电位差,所以LED不会发光;然而,当接口信号为"0"时,LED与"电源电压5V"之间就会产生电位差,所以LED就会发光。LED的点亮/熄灭正好与我们平时的感觉相反。同时,若用外部电源,也会有电流流入8255的内部,给8255增加可观的负荷。

在我们的日常生活中,通常的感觉是"开关接通时点亮"。在接口上也同样如此,当它有信号输出时,作为接口信号监视灯的LED就应当点亮,这样才符合平时人们的感觉。为此,需要根据习惯将所说的"接口输出的信号反相"。

所以,必须使用将信号"1"与"0"的状态反转的反相器。

若使用反相器,即使有LED发光所需的电流流入反相器内部,也不会增加8255的负荷,因为对反相器来说,这么大的电流几乎可以忽略。

图5表示连接反相器的电路。这一电路按照接口信号为"1"时,LED"ON",接口信号为"0"时,LED"OFF"来进行点亮/熄灭控制,指示对接口信号的监视。

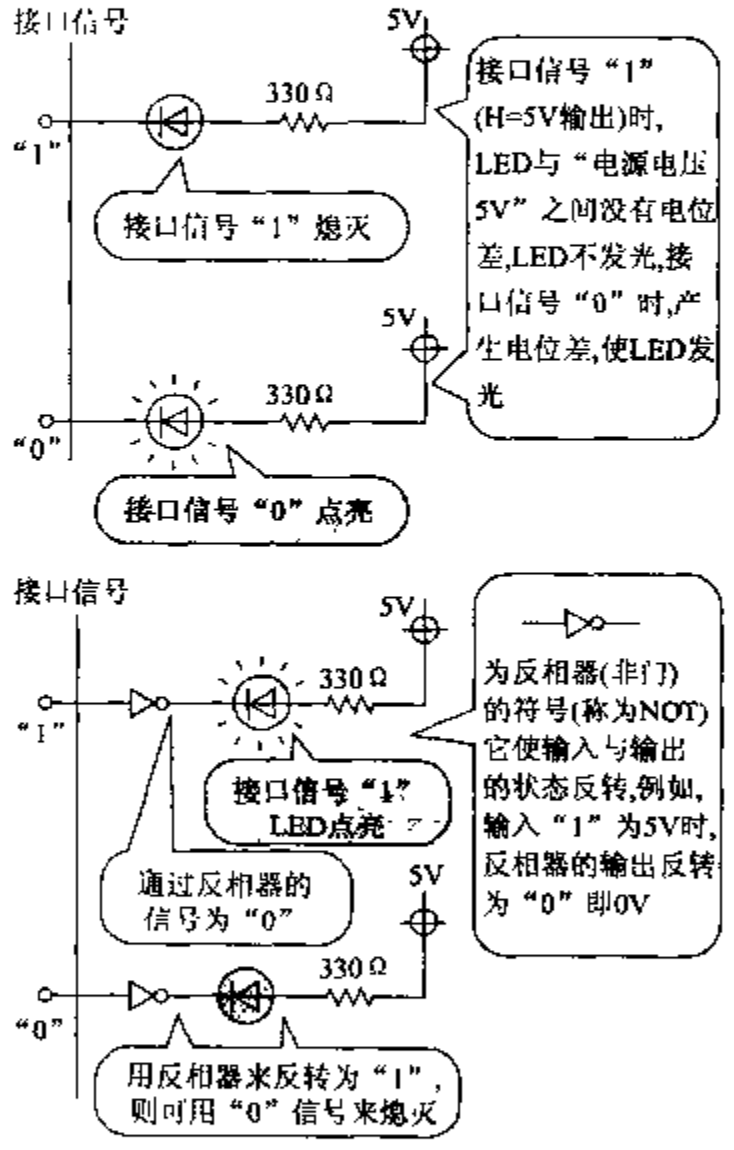


图5 LED的反相器的作用

Ⅲ LED接口监视电路

图6是4位接口信号部分的实际接线图,表1是电路的元件表。7400、7404两种反相器都可以使用,图7表示IC内部的电路。

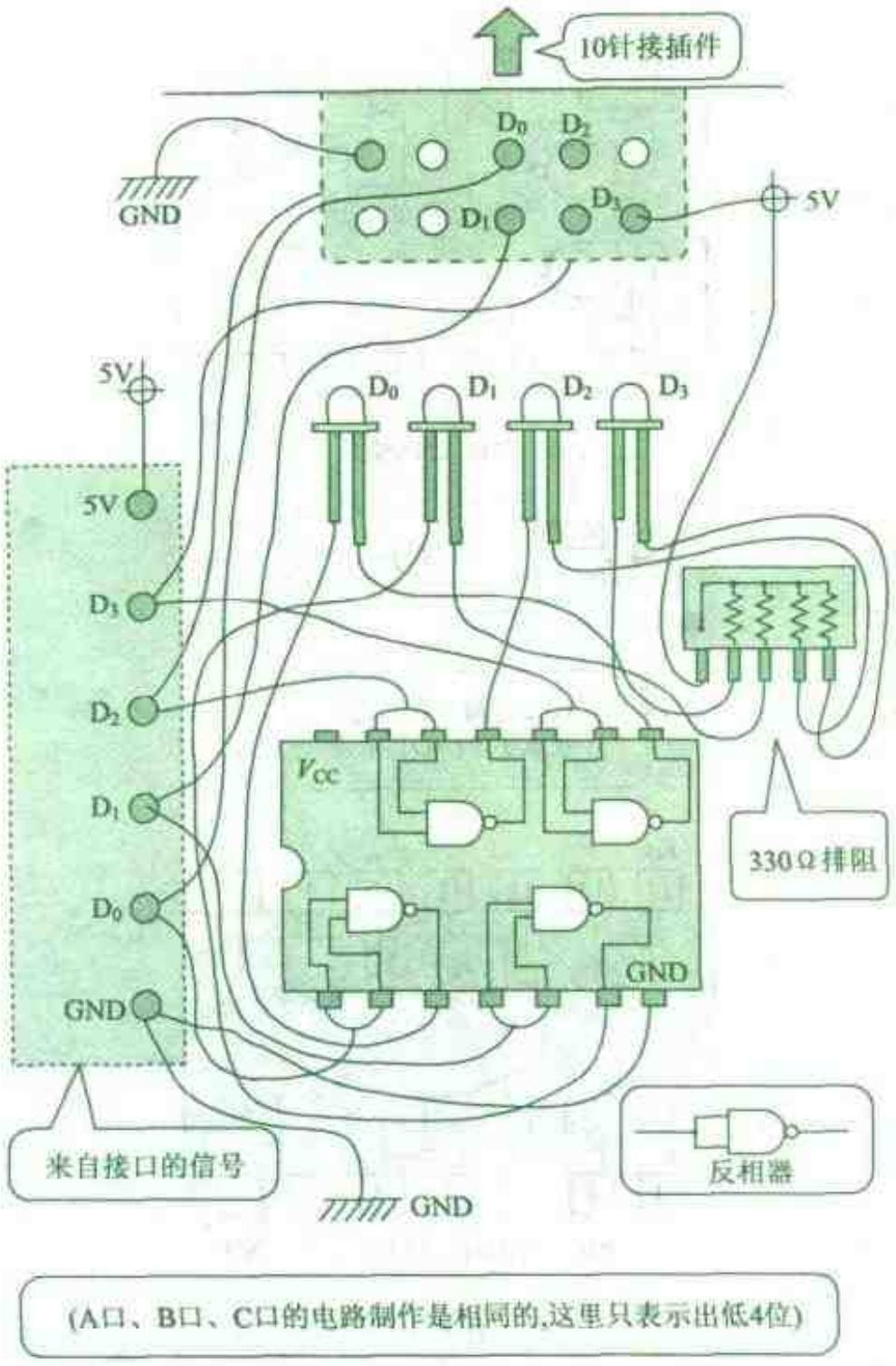


图 6　接口监视器的实际电路图

7400 称为双输入与非门(NAND)电路，只有当两个输入均为“1”时，输出才为“0”。在这种情况下，如图所示连接两只输入脚，将两个同样的输入信号反转就可以当反相器使用。

由图 7 可知，7400 是 4 个反相器，而 7404 则可作为 6 个反相器来使用。

尽管 LSI 的用法是相同的，但是即使各信号脚的接法都正确无误，若 IC 的电源 V_{CC}(5V)与地(GND)的引线接得不对的话，IC 还是不能正常工作。

330Ω 的电阻可限制流过 LED 的电流。像 LED 监视器那样，要同时用几个同样大小电阻时，可用图 6 所示的排阻，因为只需一个公共引脚，所以接线很方便。

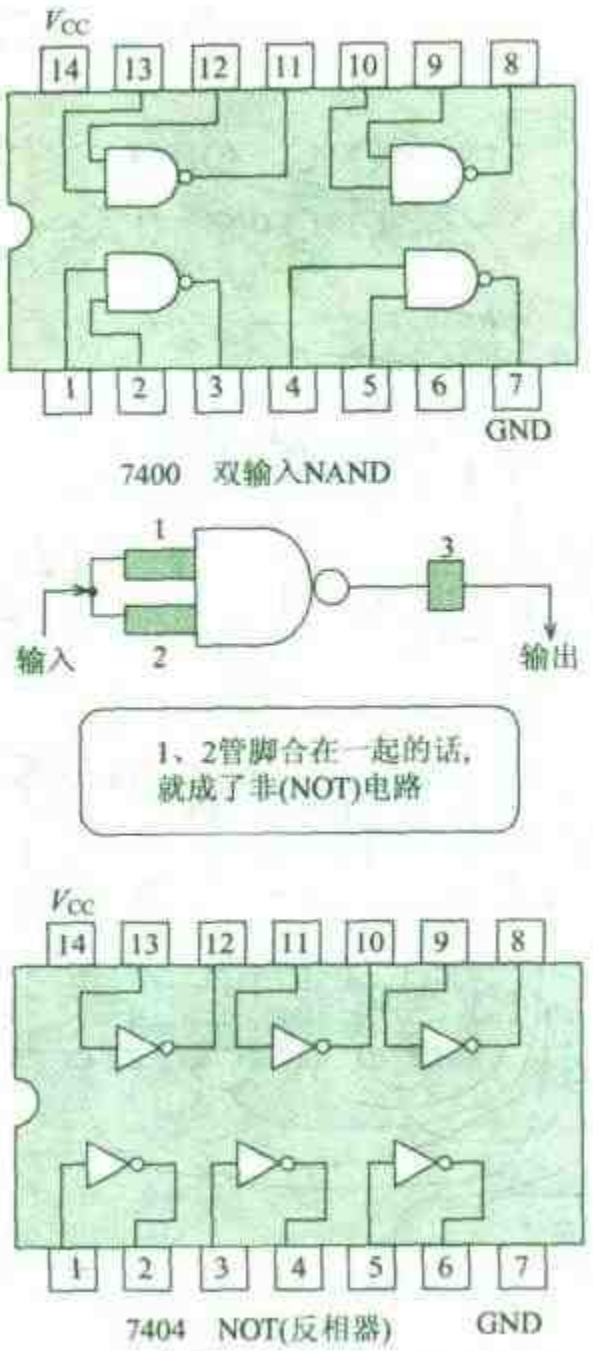


图 7

表 1　制作 LED 口监视器的元件表

元件名称	规　格	数　量	备　注
接插件	30 针	1	与扩展口连接用
LED	红、橙、蓝	各 8	按口来分颜色
排阻	330Ω	3	1 个公用端，8 元件/个
IC7400	14 脚	6	
IC 插座	14 脚	6	
接插件	20 脚	6	连接输入输出用扁平电缆
通用底板及支架	高度 30mm	1	四个支架附在底板四角上的脚
外部电源输入用脚	高度 10mm	2	5V、GND 用

若不使用排阻，则应使用 4 个阻值为 330Ω 的碳膜电阻。使用 IC7404 作为反相器时，要用 4 个 IC，(每个 IC 内有 6 个反相器)。因此 IC 插座也用 4 个(14 针)就行了。

排阻分为4个一组或8个一组的。

对于A口、B口、C口，共用了24个LED组成的监视电路，对口上的“1”与“0”信号进行监视。在图8中，还有表示监视器的照片。

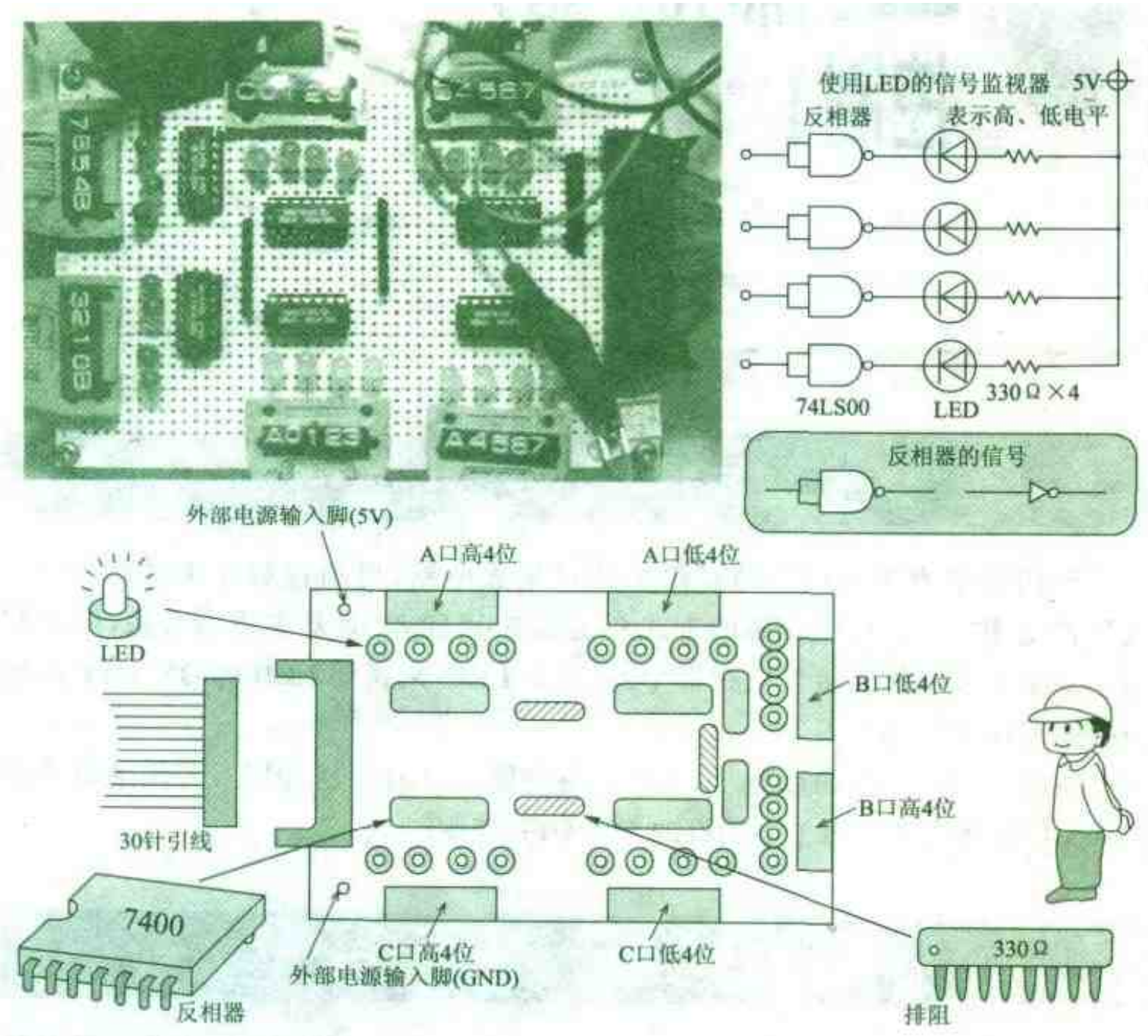
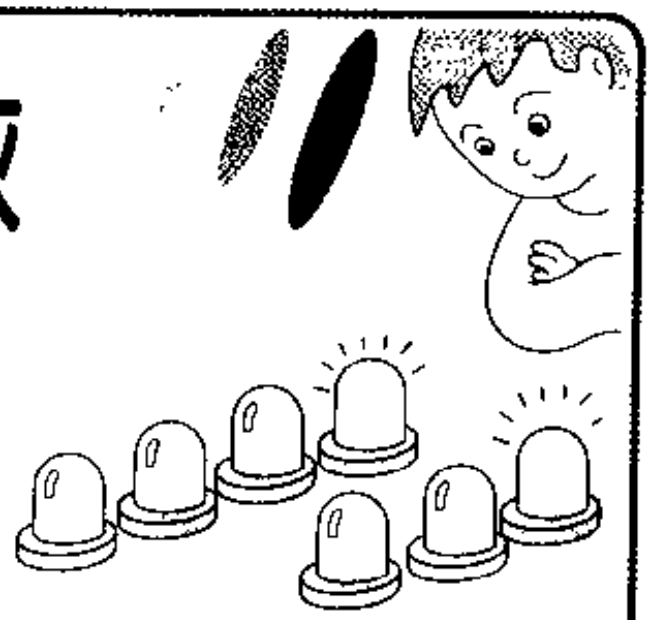


图8 使用排组的配线

3 LED的点亮、熄灭控制 I



I　点亮/熄灭控制的设计

8255 是具有多种用法的高性能接口集成电路，可通过程序来选择 0、1、2 这三种使用方式。这里介绍的方式 0，是最常用的 8255 基本使用方法，同时利用本章第 2 节制作的接口监视器中的 24 个 **LED**，来说明 **LED** 的 **ON/OFF** 控制与控制程序之间的关系。

尽管 24 个 **LED** 的点亮/熄灭控制是特别简单的控制，但是，若用继电器来取代 **LED**，则同样可用于电动机的 **ON/OFF** 控制。

II　决定控制程序的方法

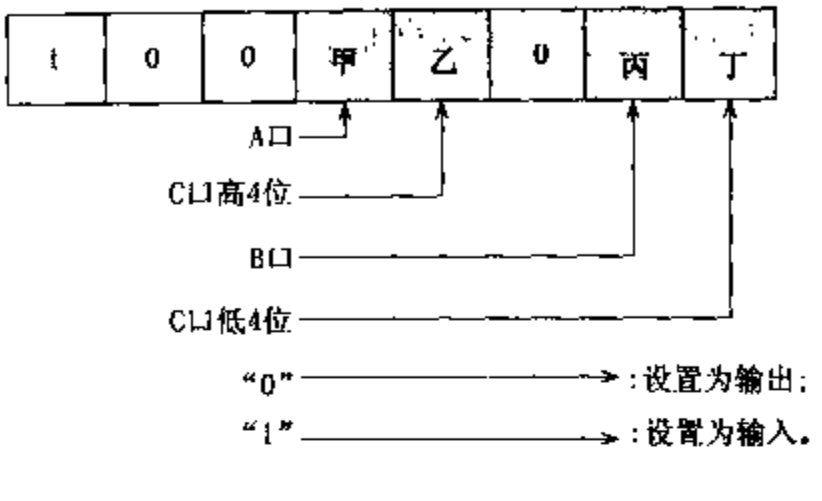
在使用个人计算机控制的过程中，必须事先用命令(指令)规定外围设备的接口 8255 上的 A 口、B 口和 C 口是用于输出还是输入，这些命令开始都要存放在初始化程序所用到的寄存器中。这些指令的内容称为“控制字(控制指令)的设置”，或称为“输入/输出的设置”。控制字根据下述方法来确定，各口的输入、输出都使用甲、乙、丙、丁 4 位，如表 1 所示。

将口设置为输入时，对应位的输入为“1”；

将口设置为输出时，对应位的输入为“0”。

这样所得到的 8 位二进制数，可分为高 4 位与低 4 位，其高 4 位与低 4 位可用两位十六进制数来表示。这个十六进制数就称为“控制字”，将它输入控制字寄存器，就完成了 8255 的输入/输出设置。

表1 控制字的设置



当进行下列设置时

A口(输入)、C口高位(输出)

B口(输出)、C口低位(输入)

甲、乙、丙、丁的输入分别为1、0、0、1。

在这种场合下,其二进制数为:(1001 0001)

其十六进制数的高四位与低四位为:&H9 &H1

两位十六进制数为:&H91

其控制字就是&H91,若用程序将OUT &HD6、&H91存入控制字寄存器,就设置好了接口的输入与输出。

当A口、B口、C口全部设置为输出时,甲、乙、丙、丁的位置上均应输入"0",即(1000 0000) = &H80,则对应的控制字就是&H80。

Ⅲ 输出的程序

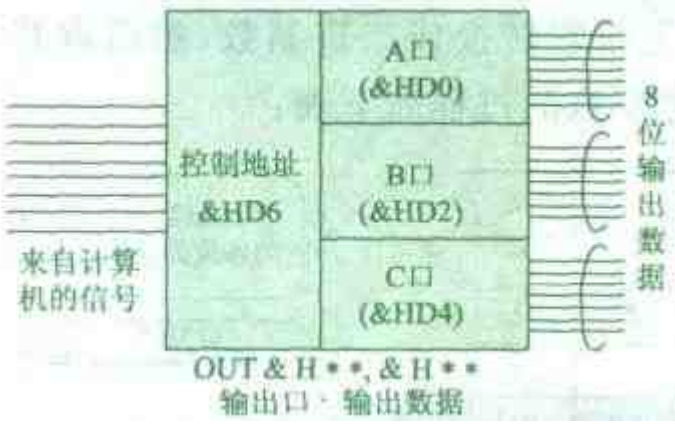


图1 计算机输出的数据流向

在BASIC程序中,是用"OUT"命令来输出数据的。

程序格式 OUT 口地址,输出数据

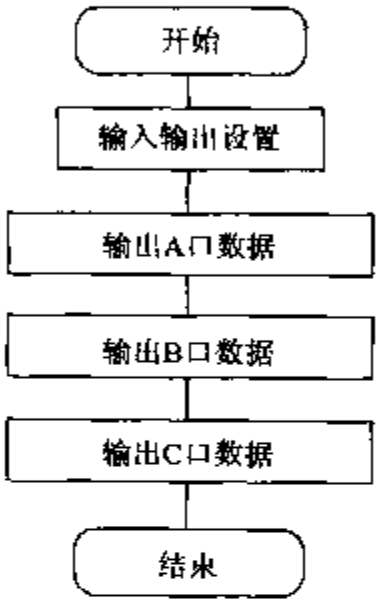
例 OUT &HD0, &H55

口地址或输出数据,要用十六进制数或十进制数给出。

当数据在程序中是变量时也可作为变量来给出。图1表示从个人计算机输出的数据流向。下面,我们来进行数据输出的练习。

问题1

将8255的A口、B口、C口设置为输出,A口上的输出数据为H11,B口上的输出数据为H33,C口上的输出数据为H55。




```
10  REM  LED-1
20  OUT &HD6, &H80  (A口、B口、C口均为输出口)
30  OUT &HD0, &H11  (输出A口数据)
40  OUT &HD2, &H33  (输出B口数据)
50  OUT &HD4, &H55  (输出C口数据)
60  END
```

[参考]PC88系列中,控制寄存器和口地址与88系列是通用的。

[88系列]

```
10  REM LED-1
20  OUT &H83, &H80
30  OUT &H80, &H11
40  OUT &H81, &H33
50  OUT &H82, &H55
60  END
```

执行后:

A口的LED状态为:点亮、熄灭数据 &H11,○○○● ○○○●

B口的LED状态为:点亮、熄灭数据 &H33,○○●● ○○●●

C口的LED状态为:点亮、熄灭数据 &H55,○●○● ○●○●

点亮、熄灭的数据,在程序中既可以用带 &H 的十六进制数,也可以用十进制数。例如,将 &H11 换成用十进制数 17 也能执行,&H33 的十进制数是51,&H55 的十进制数是85。

将第50行程序改为50 OUT &HD4, 85,也可得到同样LED点亮、熄灭的执行结果。

要将十六进制数转换成十进制数,必须先将它转换成二进制数,然后取其各位权值之和。例如要将 &H55 转换为十进制数的过程如下表:

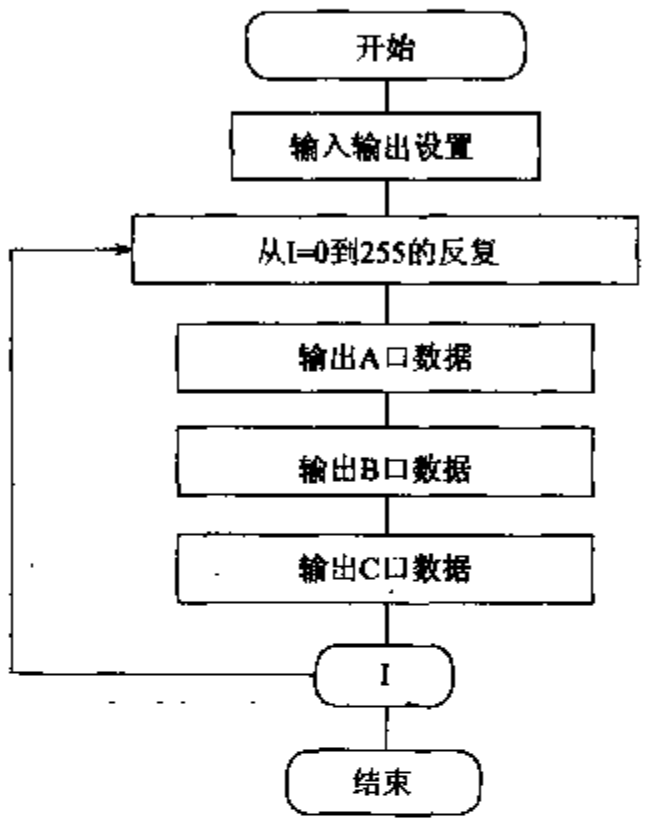
位	D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1	D_0
权	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
十进制数	128	64	32	16	8	4	2	1
&H55	0	1	0	1	0	1	0	1
	0	+64	+0	+16	+0	+4	+0	+1

二进制数为"1"的各位的权值之和

和为85

问题 2

将 8255 的 A 口、B 口、C 口设置为输出，A、B、C 各口依次输出从 &H0 $(0)_{10}$ 起到 &HFF $(255)_{10}$ 为止的数据。



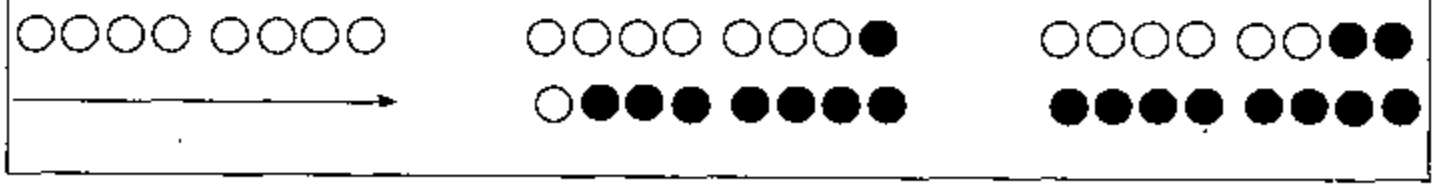

```
10  REM  LED-2
20  OUT &HD6, &H80(A 口、B 口、C 口均为输出口)
30  FOR  I=0  TO  255(计数器加 1)
40  OUT &HD0, I(输出 A 口数据)
50  OUT &HD2, I(输出 B 口数据)
60  OUT &HD4, I(输出 C 口数据)
70  NEXT I(从这里反复)
80  END
```

若运行此程序，则一瞬间就结束了，为了减慢程序的运行速度、延长时间，就要追加所谓的延时循环程序。为此，增加以下的程序语句：

```
75  FOR  TIME=0  TO  100:NEXT TIME
```

若把 100 这个数减少，延时的时间就会减少，程序的执行速度就加快；若用比 100 更大的数，延时的时间就会增加，程序的执行速度就减慢。

运行此程序时 LED 的点亮、熄灭状态(进行从 I=0 到 255 的计数)。



Ⅳ　确定控制字的练习

问题(输入口输入“1”,输出口输入“0”。)

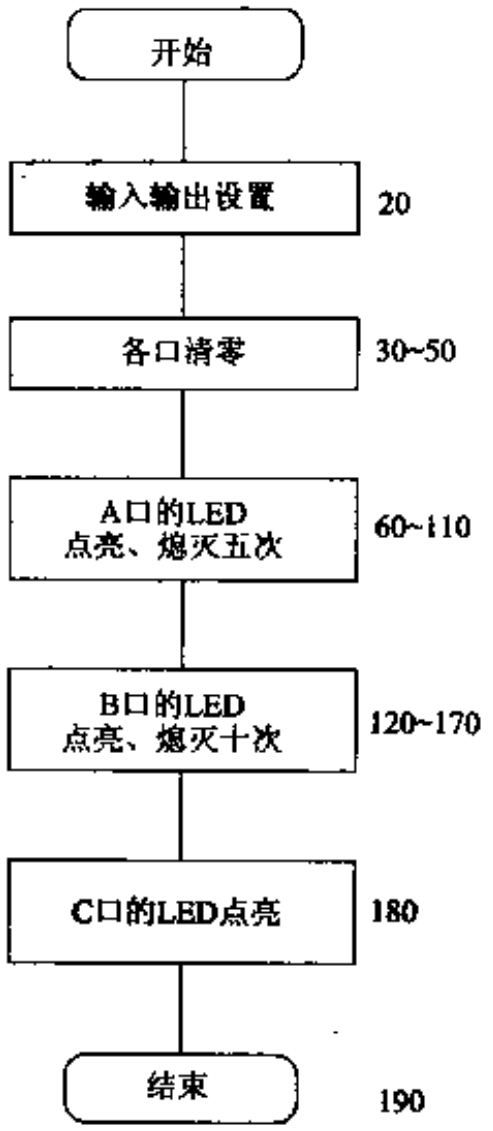
	口				二进制数									十六进制数
	A	C 高	B	C 低										
练习	出	出	出	出	1	0	0	0 出		0 出	0	0 出	0 出	&H80
(1)	出	出	出	入	1	0	0				0			
(2)	出	出	入	入	1	0	0				0			
(3)	出	入	出	入	1	0	0				0			
(4)	出	入	入	入	1	0	0				0			
(5)	入	出	出	入	1	0	0				0			
(6)	入	出	入	入	1	0	0				0			
(7)	入	入	出	入	1	0	0				0			
(8)	入	入	入	入	1	0	0				0			

解答：

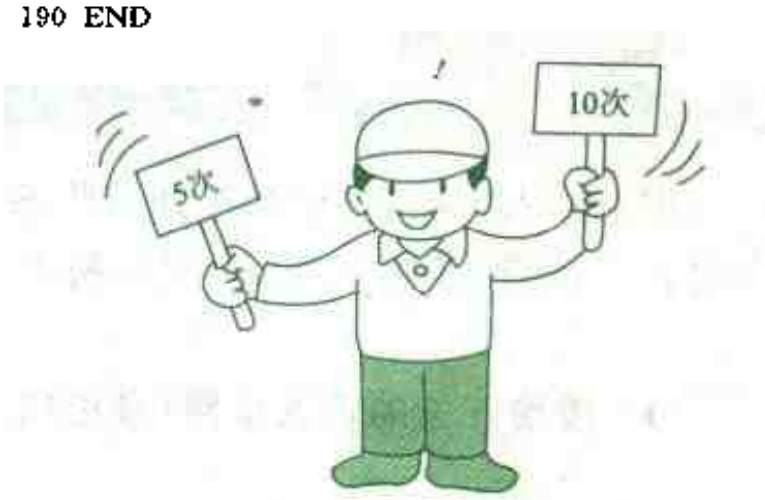
二进制数	十六进制数
1000 0001	&H81
1000 0011	&H83
1000 1001	&H89
1000 1011	&H8B
1001 0001	&H91
1001 0011	&H93
1001 1001	&H99
1001 1011	&H9B

问题 3

将 8255 的 A 口、B 口、C 口均设置为输出口，A 口的灯点亮、熄灭 5 次后，B 口的灯亮，B 口的灯点亮、熄灭 10 次后 C 口的灯亮。

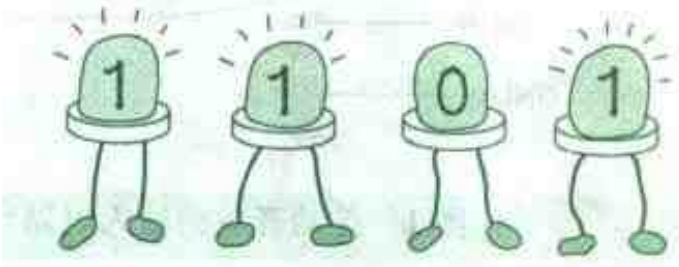



```
10  REM  LED-3
20  OUT &HD6, &H80
30  OUT &HD0,0 (A 口 OFF)
40  OUT &HD2,0 (B 口 OFF)
50  OUT &HD4,0 (C 口 OFF)
60  FOR I=1 TO 5
70  OUT &HD0,255 (A 口 ON)
80  FOR  TIMER=0  TO  100:NEXT
90  OUT &HD0,0 (A 口 OFF)
100 FOR  TIMER=0  TO  100:NEXT
110 NEXT I
120 FOR  I=1  TO  10
130 OUT &HD2,255 (B 口 ON)
140 FOR  TIMER=0  TO  100:NEXT
150 OUT &HD2,0 (B 口 OFF)
160 FOR  TIMER=0  TO  100:NEXT
170 NEXT I
180 OUT &HD4,255 (C 口 ON)
190 END
```



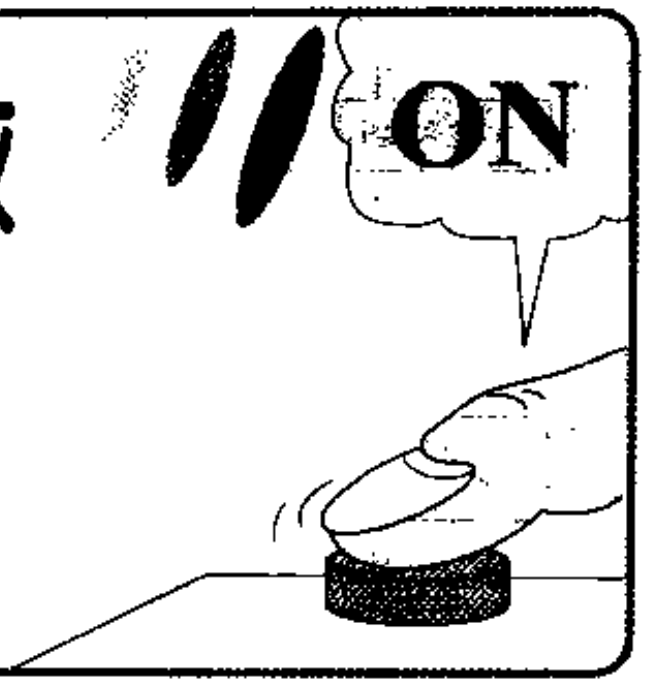
此程序是以某种条件进行反复控制处理的例子，像这类“某个程序结束的话就进行下一个处理”的程序称为顺序控制。顺序控制的例子很多。

除了这些练习程序之外，读者可自己来提出问题，进行一些编制程序的练习。





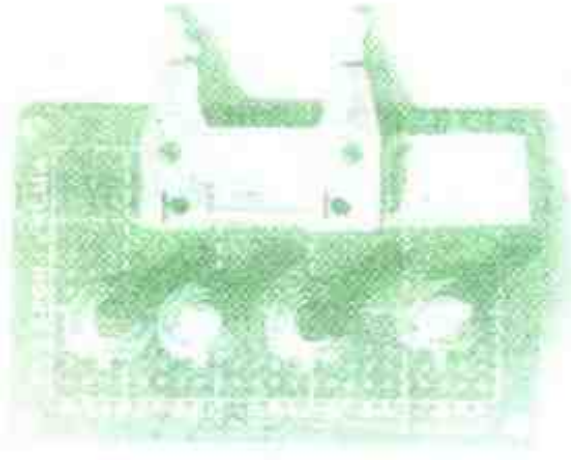
4 LED的点亮、熄灭控制Ⅱ



1 输入电路

作为输入电路,制作两种开关状态的电路,一种是拨动开关,它可以保持动作状态;另一种是按钮开关,你一松手它就返回原状,我们来看看它们有何区别。

(1) 拨动开关的输入电路(参见照片 1)



照片 1

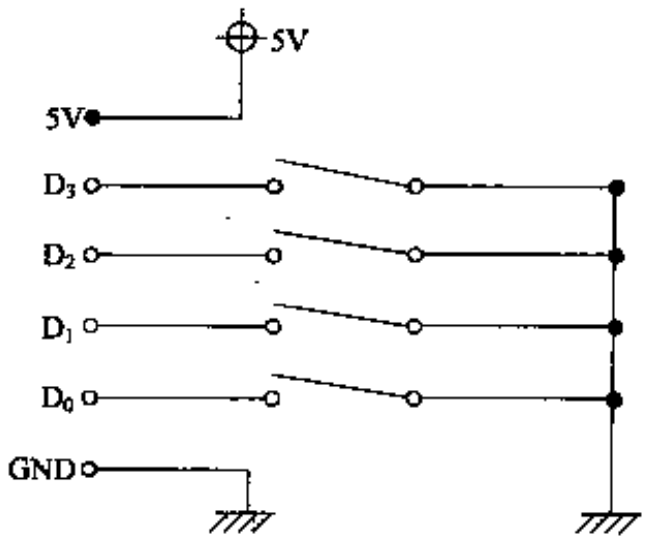


图 1　拨动开关的输入电路

如图 1 所示,因为接口监视电路是以 4 位为单位的,为取得一致,所制作的输入输出电路也以 4 位为单位。因此,尽管在制作的电路中表示的是低 4 位($D_0 \sim D_3$),若将它连接在高 4 位的接插件上,则可从高 4 位($D_4 \sim D_7$)进行输入。

输入电路和接口监视电路一起，通过10针的扁平电缆连接到各自的位置上。经过这样的连接之后，通过接口监视电路的LED就可以从该接口根据位确认往个人计算机输入信号的状态。

现在，看电路图就可知道，当拨动开关OFF时，由于电位上升，监视器的LED均会点亮。由此可见，当拨动开关接通时，监视器的LED就会熄灭(这一LED的指示，与按钮输入电路所用的状态是相同的)。

(2) 按钮开关的输入电路

拨动开关能自己保持ON的状态，而对于按钮开关的输入电路来说，仅仅在按下按钮时，该位为ON(有效)，只要一松手，输入信号就OFF(消失)了。

这样的开关在控制电路中也经常用到。

例如用微动开关来检测传送带上移动的物体位置等时，若物体到达某一位置，就使传送带的电机反转。在这种情况下，微动开关会立即返回原状(返回到动作之前的状态，准备下一次的动作)。也就是说，它与按钮开关的功能相同。

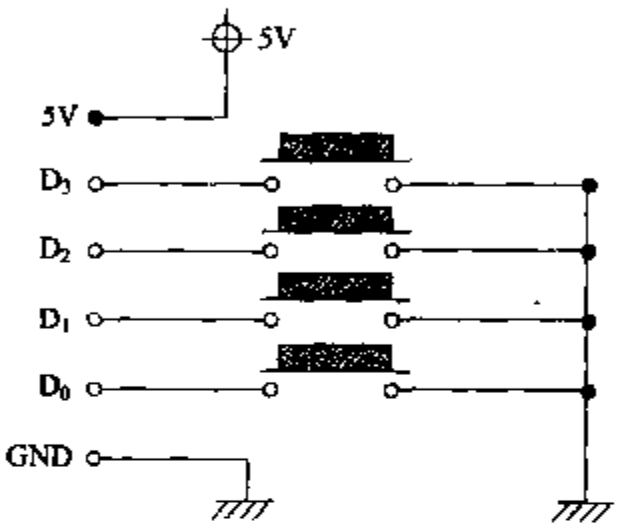


图2 按钮开关的输入电路

图2是按钮开关的输入电路，其输入电路是与拨动开关的输入电路相同的。

Ⅱ 输入的命令语句

开始，先按使用要求设置输入输出用的控制字，口状态的读入，使用“INP”命令。根据技术手册，该命令为：

功能	取得输入口的数据
格式	INP(口地址)
语句例子	A=INP(15)
说明	从<口地址>所指定的输入口读取作为函数值的8位数据。

在口地址中代入如下编码：

在A口中代入　&HD0

在B口中代入　&HD2

在C口中代入　&HD4

现在，若执行语句A=INP(&HD0)，就将A口的十进制数据读入了变量A

中。这里是通过与实际的接口连接来执行程序的。

下列程序将 A 口的低 4 位上的开关状态输出到接口监视器上,使 LED 点亮/熄灭,并送到显示器中显示。

```
10  REM  A 口输入
20  OUT  &HD6, &H90
30  A=INP(&HD0)
40  PRINT"A=";A
50  GOTO 30
```

程序的含意如下:

第 20 行　设置 A 口为输入口;

第 30 行　从 A 口输入;

第 40 行　将 A 口的状态输出到显示器(CRT)上显示;

第 50 行　反复读入输入信息。

若运行程序,则未按下过开关的各位的状态一直保持着初始状态,监视器的 LED 就一直亮着。在 CRT(显示器)上则一直显示着"255"。

将各位上的开关分别以每次按一个来接通,则 CRT 上的显示如下:

第 0 位　ON　254

第 1 位　ON　253

第 2 位　ON　251

第 3 位　ON　247

原来,在第 0 位上的开关 ON 时,就可期望输出"1",在第 1 位上的开关 ON 时,就可期望输出"2"。理由是,在开关接通时,所对应位的电压就分别降到了低电平,也就是说,只有当四个按钮都没有按下时,全部位才处于高电平的状态,所以显示器上就一直显示着"255"。

我们下面要做的工作是,将显示器上的显示变为符合习惯的数值(权值)。即以数字"0、1、2、4、8、……"的形式往 CRT 上输出,并选取变量。为此,将程序中的第 30 行作如下变更:

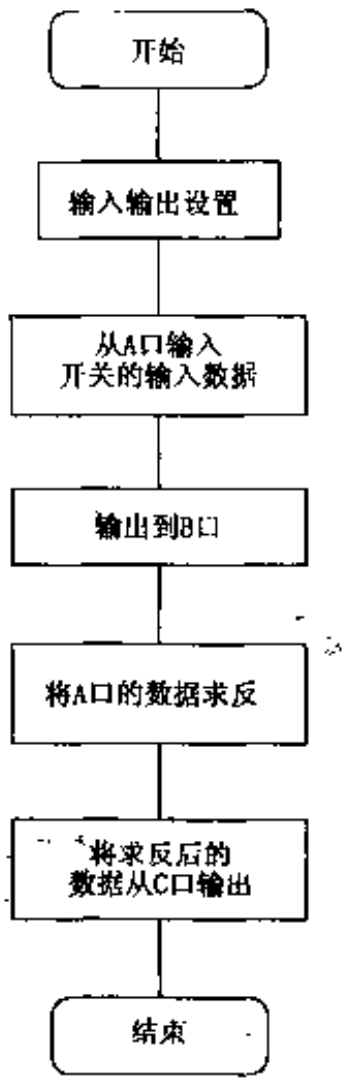
```
30 A=255-INP(&HD0)
```

这是按位求反指令常用的手法。



问题4

读入连接在8255A口上的开关数据，并将数据输出到B口的LED上，然后将数据输出到C口的LED上。




```
10  REM  LED-4
20  OUT &HD6, &H90 (设置 A 口为输入,B 口、C 口
    为输出)
30  A=INP (&HD0)(输入 A 口的开关信息,现在第
    "0"位为 ON 的状态)
40  OUT &HD2,A (监视器 LED 的输出为:●●●●
    ●●●○ )
50  K=255-A (按位求反的功能)
例: 1111 1110
求反:0000 0001
    (数据 A 是以十进制数输入的)
60  OUT &HD4,K(监视器 LED 的输出为:○○○○
    ○○○●)
70  END
```

现在，把输入的开关信息输出到CRT上。为此，追加语句：

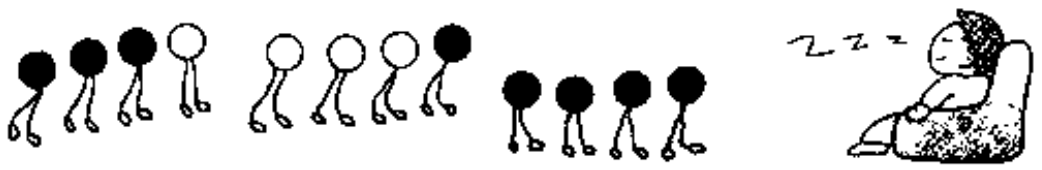
65 PRINT "PORT A=";K

就会在CRT上显示"PORT A="。(按照第50行将开关信息的数据求反，是将它以"位的权值"的数据来输出的。)

再将第70行语句换成：GOTO 30。

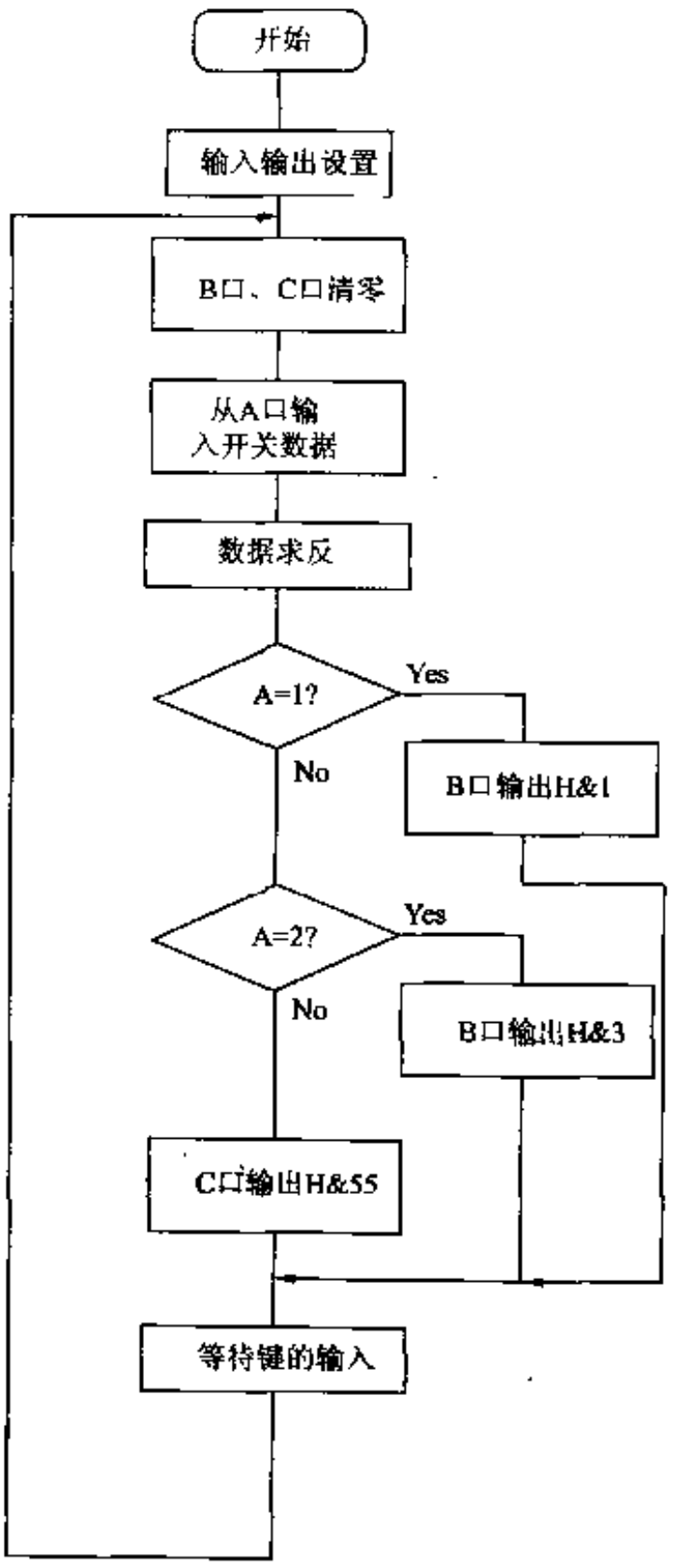
若运行此程序，就可以反复从A口输入开关信息，并从B口、C口输出。此时的控制字是&H90，如果要换成从B口输入，从A口、C口输出，则应当将控制字换成&H82。

这样，如何来使用各口，就可以由你自己来决定了。

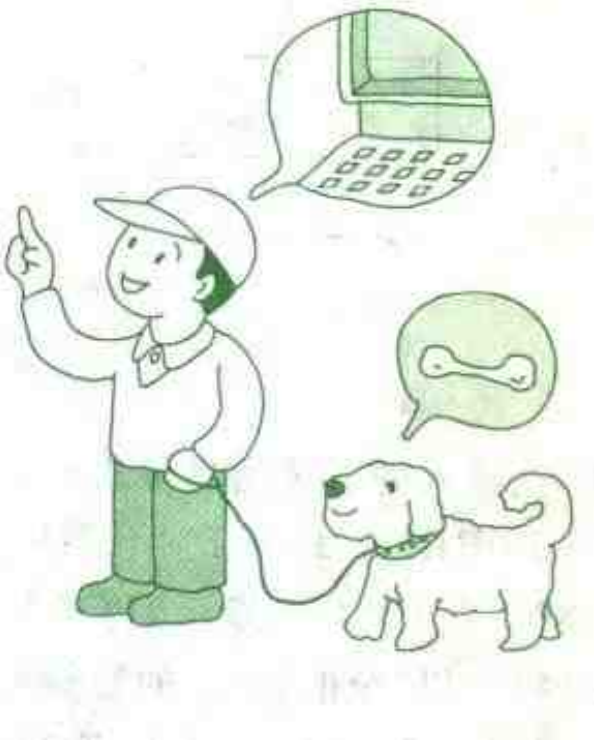


问题 5

读入接在 A 口上的开关数据，当该数据为“1”时，使 B 口第 0 位的 LED 亮灯。当该数据为“2”时，则使 B 口第 0 位、第 1 位的 LED 点亮，并且使蜂鸣器发出声音；而在其他的情况下，均使 C 口第 0、2、4、6 位的 LED 点亮；反复地执行此程序。

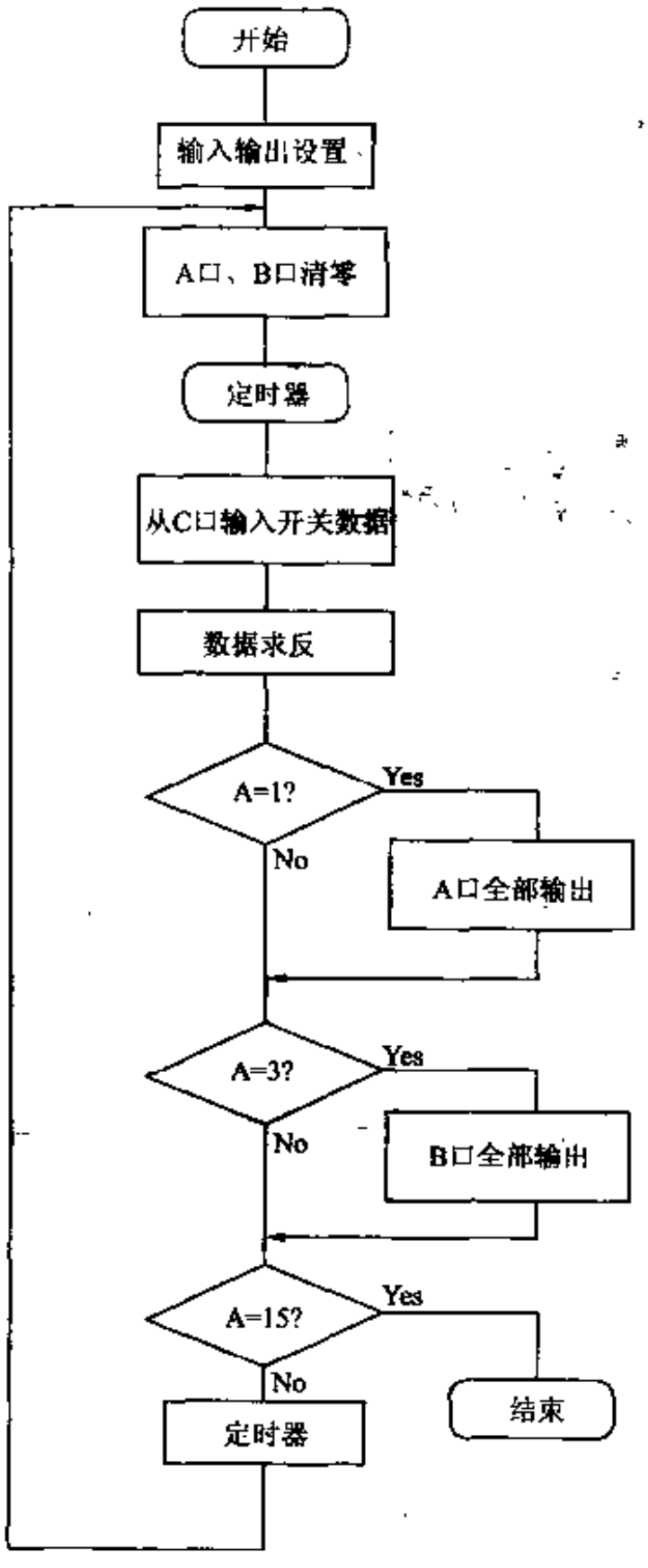



```
10  REM  LED-5
20  OUT &HD6, &H90
30  OUT &HD2,&H0
40  OUT &HD4,&H0
50  A=INP(&HD0)(输入开关信息)
60  A=255-A
70  IF A=1 THEN  OUT &HD2,&H1:BEEP:GO-
    TO 100(○○○○  ○○○●)
80  IF A=2 THEN  OUT &HD2,&H3:BEEP:GO-
    TO 100(○○○○  ○○●●)
90  OUT &HD4,&H55(监视器 LED 输出)○●○●
    ○●○●
100 I$=INPUT$(1)(等待某个键的输入)
110 GOTO 30
```

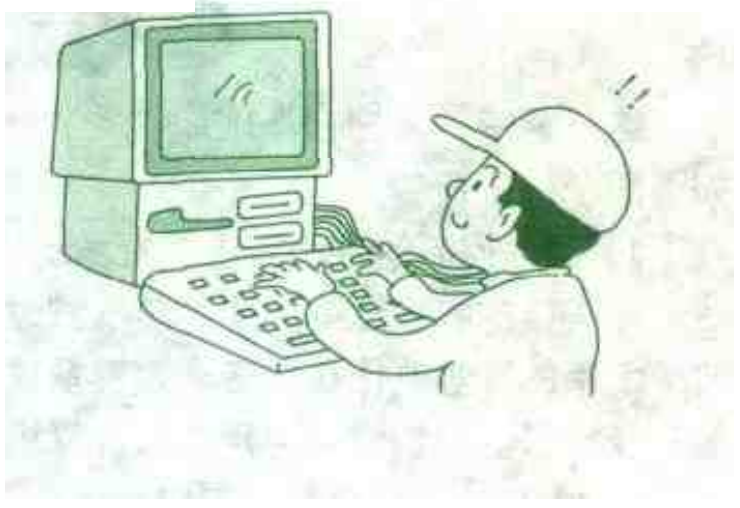


问题 6

根据与C口低4位相连的各位开关的信息控制LED，开关信息为“1”时，A口的LED开始点亮和熄灭；当开关信息为“3”时，B口的LED开始点亮和熄灭；当开关信息为“15”时，停止LED的工作。




```
10  REM  LED-6
20  OUT &HD6, &H89(从C口的高位、低位输出)
30  OUT &HD0,&H0
40  OUT &HD2,&H0(A口、B口的LED熄灭)
50  FOR I=0 TO 500: NEXT I(定时器延时循环)
60  A=INP(&HD4)(从C口输入开关信息)
70  A=255 -A(数据求反)
80  IF A=1 THEN OUT &HD0,&HFF(当数据为1
    时,A口的LED全部点亮)
90  IF A=3 THEN OUT &HD2,&HFF(当数据为3
    时,B口的LED全部点亮)
100 IF A=15 THEN END(当输入数据为15时,程序
    结束;从第0～3位这四位同时输入)
110 FOR I=0 TO 500: NEXT I(定时器延时循环)
120 GOTO 30
```



第4章

使用个人计算机的简单控制入门(应用篇)



本章的学习内容

这一章中，要把在基础篇中所学到的基础知识真正地应用到组装电路。要制作如下四个模型：

1. 键盘控制的自动音乐演奏系统

在宾馆的咖啡厅等场所，总欣赏过小提琴的自动音乐演奏吧。这一节就利用能简单上手的键盘制作自动音乐演奏系统。音乐只要抓住所谓的“音阶与音长的时序图”就行了。我们就学习用个人计算机控制的音阶与音长。

2. 模/数(A/D)转换的温室控制系统

这一节中要学习通过温度传感器测量作为模拟量出现的温度，并将其温度的信息转换为数字量的电路。然后用这个数字信息控制个人计算机来驱动控制温度的执行机构。

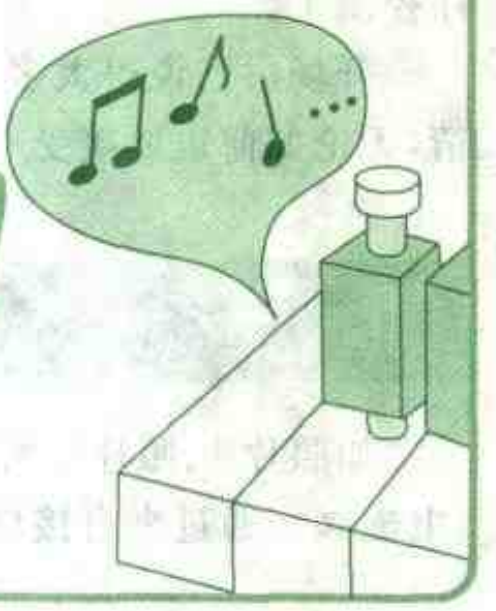
3. 汽缸控制的气动机器人系统

机器人作为自动化与减轻劳动强度的主力活跃在工厂的实际操作现场,本节介绍利用个人计算机控制气动执行机构的机器人。

4. 交流100V的交通信号灯控制系统。

提供制作实际交通信号灯控制系统的模型，学习用个人计算机控制该系统的顺序控制电路。

1 键盘控制的音乐自动演奏系统



I 自动演奏的设计

我自己从小时候就不善于在公众场合唱歌，或者说是“五音不全”。小学时自己吹口琴也分不清是“do”还是”re”。因此，至今还不会吹口琴。但我却非常喜欢听音乐，一听到哪儿传来音乐，就会精神振奋。

当然，总想“如果能用演奏来代替唱歌就好了”，这是我小时候的梦想。

因此，不考虑音乐的演奏与艺术性，从机械上来考虑，就可以理解“乐谱就是音阶及其音长的时序图”的说法。

这样，如图 1 及照片 1 所示，把琴键当作一个开关，用“do”弹四分音符，接

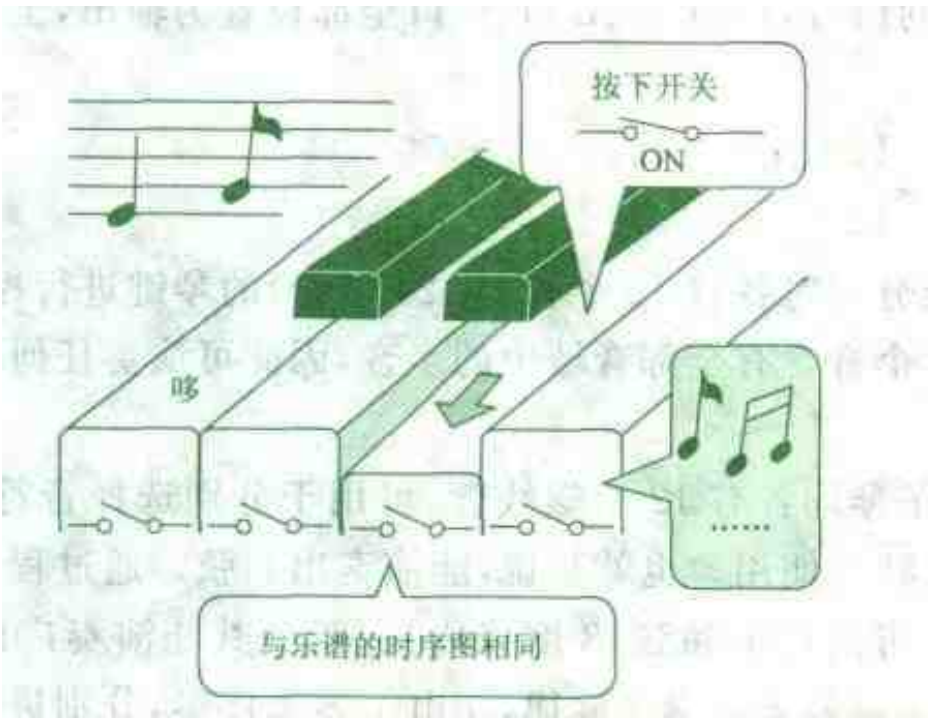


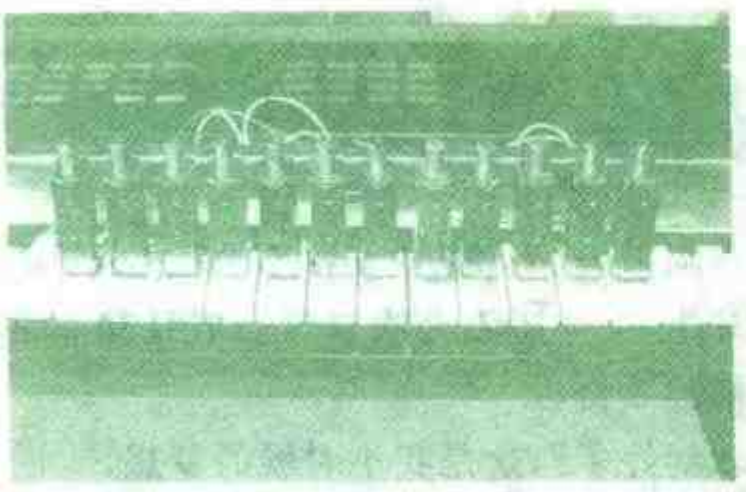
图 1 关于音阶与琴键

着用弹"re"的八分音符的一个快速开关，只接通其一半的时间，就构成了按顺序的时序图。反过来，通过个人计算机演奏音乐，就成了通过时序图来进行顺序控制了。

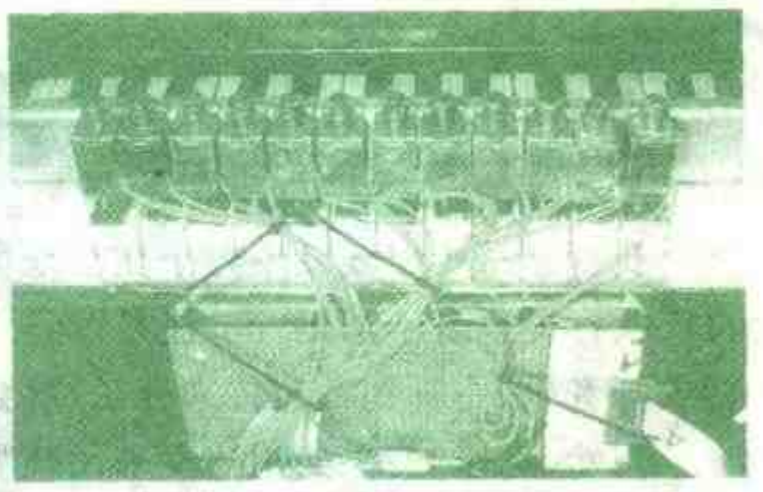
开场白已说得太多了，控制机构能表演自己喜欢的音乐是令人满意的事情，无论如何也要接受一下挑战呀！

Ⅱ　自动演奏装置的特征

如照片 1、照片 2 所示，按电子琴或风琴的琴键的驱动动作，用的是螺线管(电磁阀)，通过来自接口的信号，利用螺线管的直线运动来演奏曲子。



照片 1　设置在电子琴琴键上的螺线管



照片 2　设置在风琴琴键上的螺线管

来自接口的信号，将 A 口、B 口、C 口全部设置为输出，全部 24 位的信号分别为：

风琴用　　12 位；

电子琴用　12 位。

因此，就能分别对各自 12 个音(共 24 个音)的琴键进行控制(演奏)。

所说的 12 个音含有全部音域中的半音，因此可演奏任何乐曲，但是没有设置半音键。

风琴与电子琴均各有 12 个螺线管，可用于分别选择音符(指定琴键)与动作时间，都可以独立使用。也就是说，能演奏出和弦。通过程序，根据同时动作的任一螺线管，可演奏出和弦(8 度以内)。听到其能演奏广阔的音域，真令人愉快。也可以用风琴来演奏主旋律，用电子琴来伴奏，分别进行弹奏。并且，用同样的方法，曲子的高音部与低音部也可以分别演奏。演奏的速度(节拍)，可

根据曲调任意设置，以基准时间的比值为单位来成倍地增大。通过编写不同顺序的程序，就能自动演奏丰富多彩的音乐。

Ⅲ　用个人计算机的自动演奏系统

来自个人计算机的信号，通过接口驱动螺线管直接敲击风琴、电子琴的琴键，即引起发声的执行机构（螺线管）的动作。

图 2 表示自动音乐演奏系统的结构

如图 3 所示，用于风琴的继电器的驱动，由 C 口的 8 位与 B 口低 4 位分担。电子琴的驱动则由 A 口的 8 位与 B 口的高 4 位来分担。按这样分配，通过螺线管来驱动各自的 12 个音的琴键。

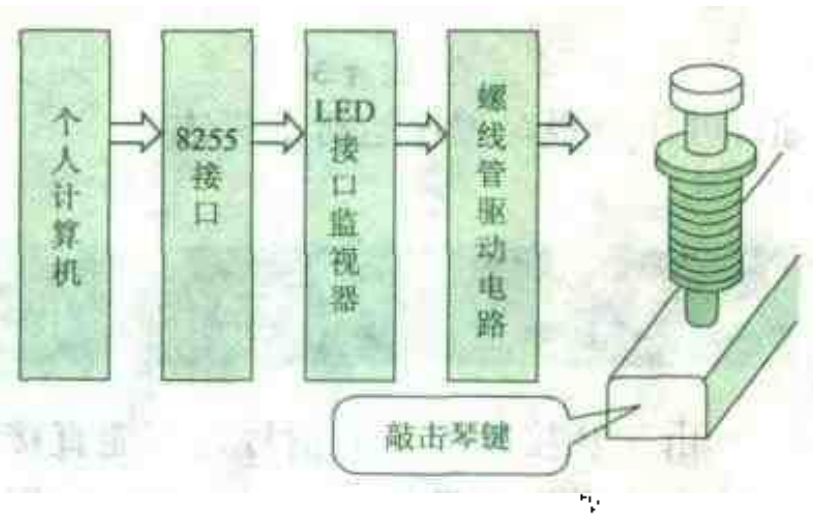


图 2　自动音乐演奏系统的简图

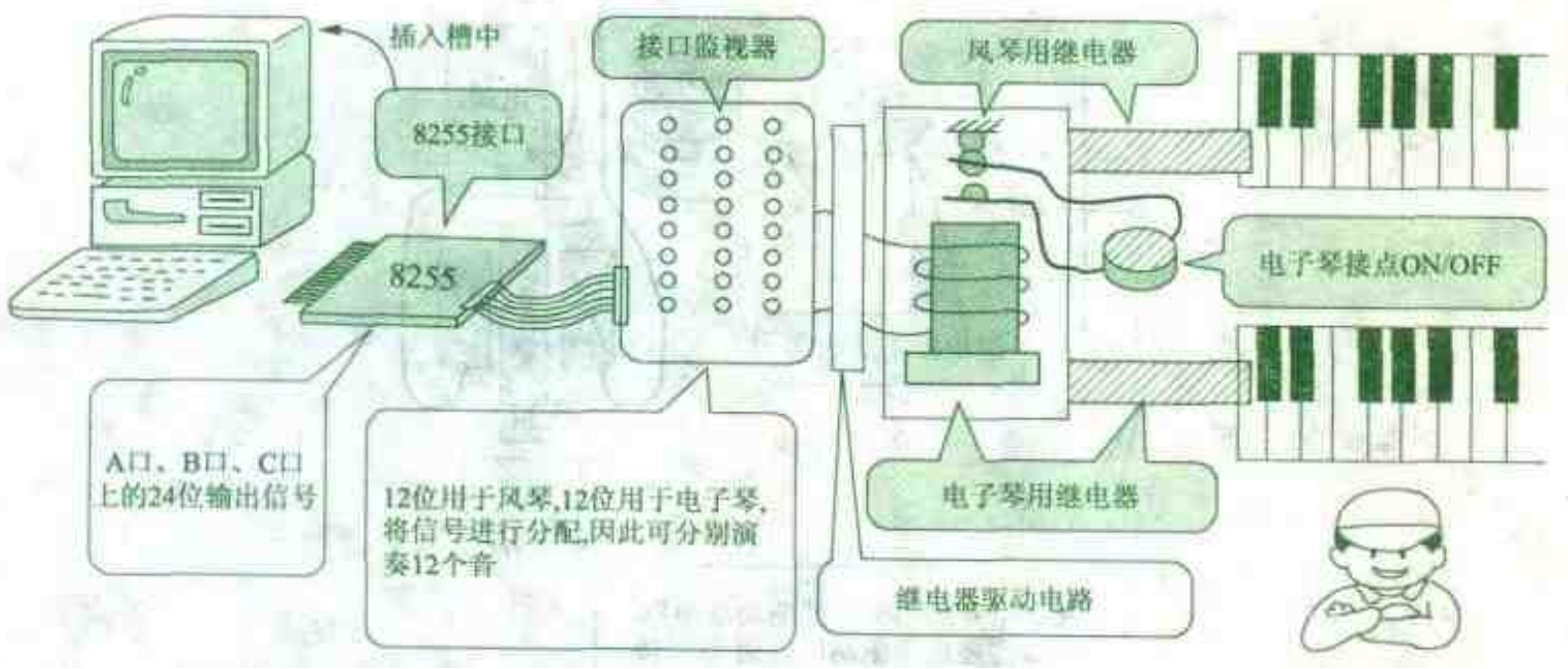
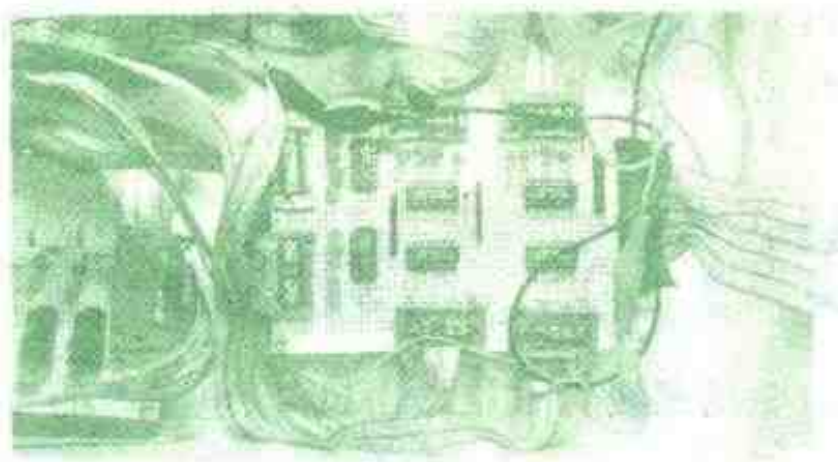


图 3　接口信号的分配

Ⅳ　接口监视器

从接口出来的信号通过 LED 接口监视器（照片 3：以前制作的装置）来进行监视。



照片 3

当作为自动演奏系统来工作时,比如只有 LED 正常工作,而螺线管未动作时,可检验驱动部分。并且,当监视器的 LED 本身未动作时,可用于检验接口等。接口监视器在硬件的故障诊断上非常有用。同时,在正常演奏时,监视器的 LED 本身,还能看到其轻松的节拍,可作为跟踪程序运行的标志。

V　整个电路的构成

由于从接口出来的信号是不能直接驱动继电器的。为此,用图 4 所示的晶体管电路来将信号放大。图 5 表示详细的放大电路。

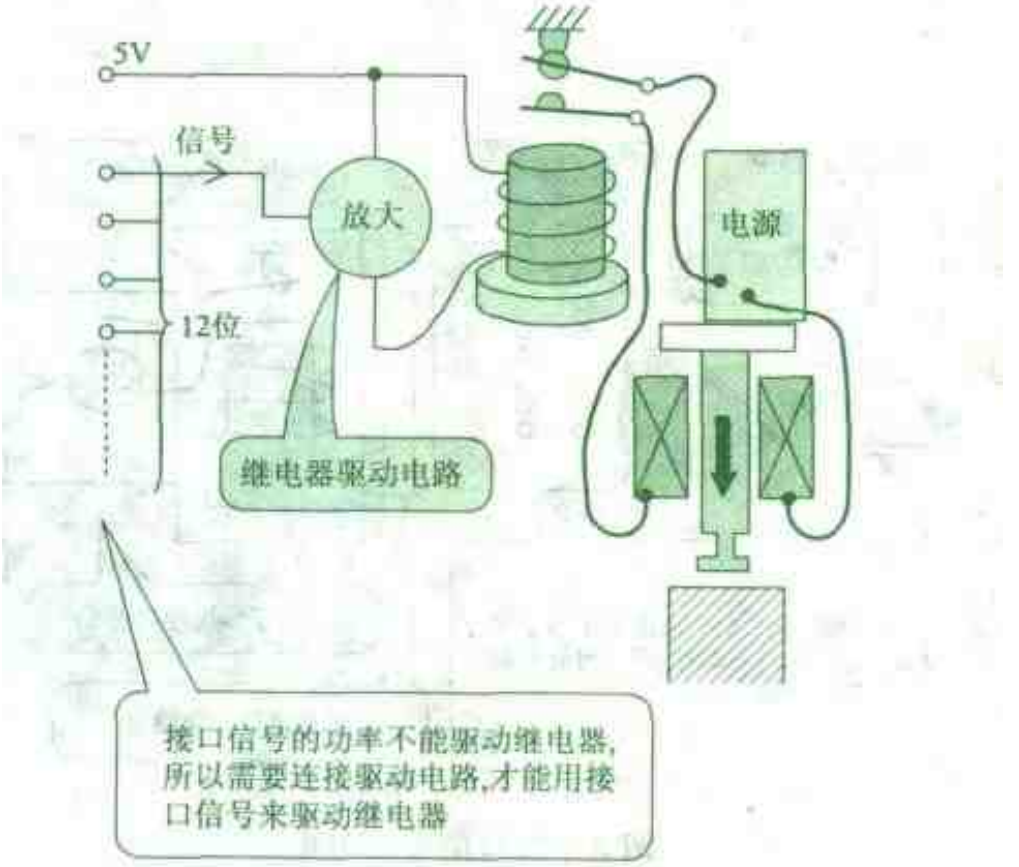


图 4　接口信号的放大

图中所用的晶体管为 A 型的 2SA1015,晶体管电路中常用的 2SC1815 是一种称为"互补(同样规格定额、但极性相反的晶体管)型"的晶体管。

在制作电路时,偶尔会用库存最多的元件,此时,应选用适合于小信号放大

的数字电路及集电极电流为 100mA 左右的装置驱动用的晶体管。

使用 2SC1815 时，因极性相反，所以要用经过变换的电路(参见图 6)。

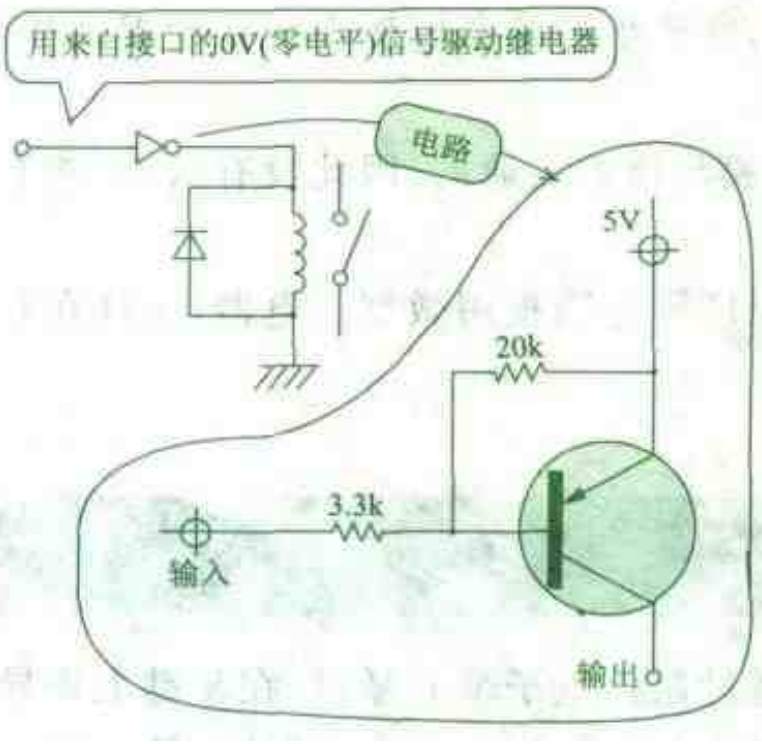


图 5　晶体管放大电路

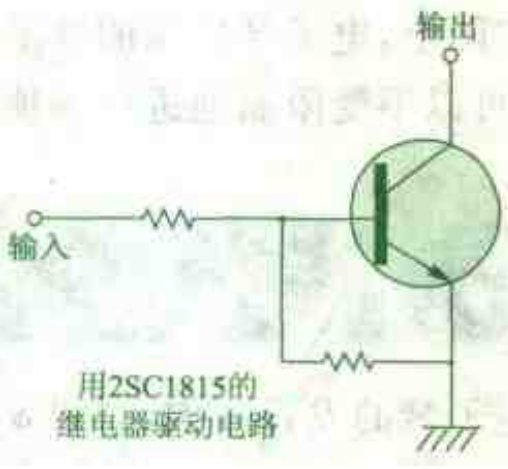


图 6　用 2SC1815 的电路

图 7 表示风琴演奏用的继电器电路详图，连接在继电器电路上的二极管是抑制继电器断开时产生的反电势(也称浪涌电压)用的。另外，从电路的结构可知，这个继电器是在接口输出的信号为“0”(0V)时动作的。

继电器 ON 时，通过设置在琴键上的螺线管动作，即可弹奏出声音。

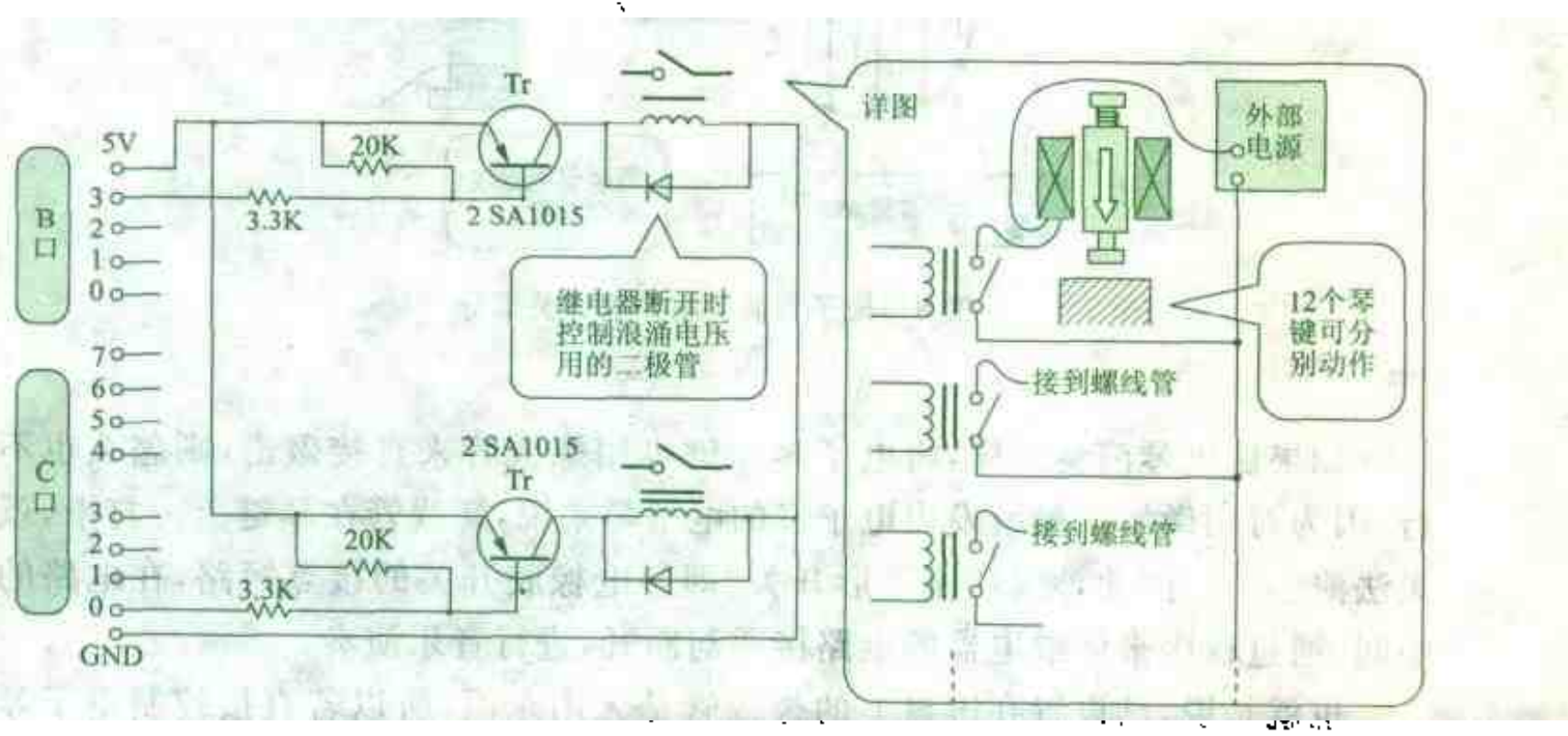


图 7　风琴演奏用的电路

Ⅵ　风琴用继电器

考虑风琴用继电器在螺线管动作时，所产生的浪涌电压会产生的误动作，所以使用水银继电器(动作电压为 DC5V)。

水银继电器的接点是通过水银的薄膜与衔铁接通的，因此没有抖动，能有效防止噪声、浪涌电压。

实际上，电子琴所用的继电器也可用印刷电路板用微型继电器，这样在制作时，可以不受限制地进行各项试验。

Ⅶ　电子琴用继电器

电子琴的发音结构，如图 8 所示。通过敲击电子琴的琴键，在琴键上用导电橡胶制成的“梳子形开关”就会通电，便从音源发出“do、mi、so”的电子音来。

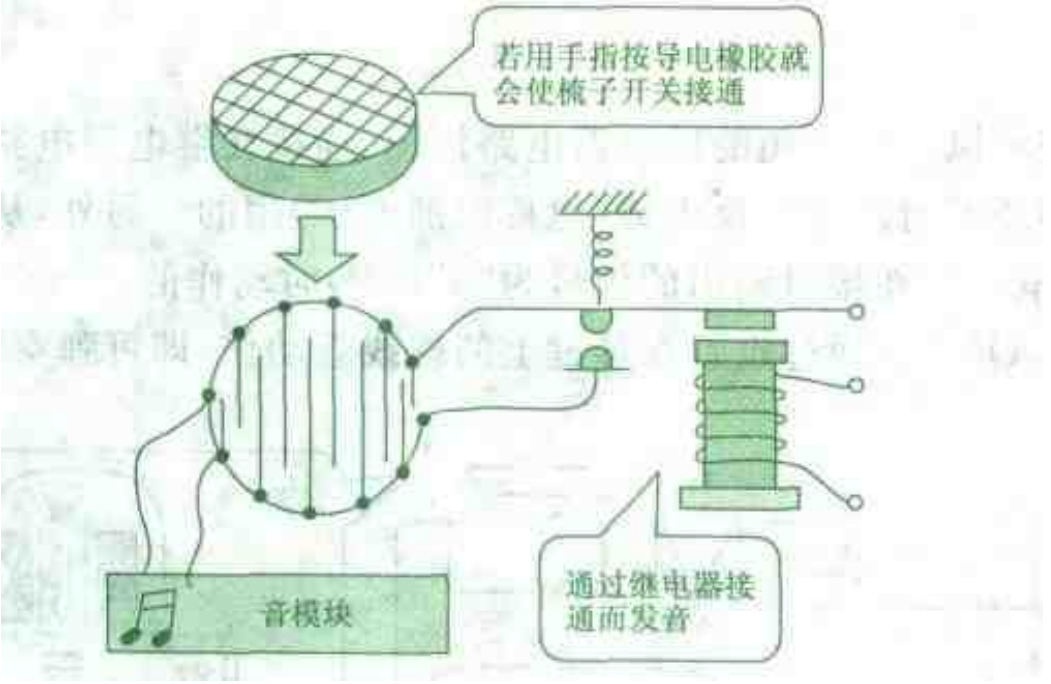


图 8　梳子形的导电橡胶开关部分

如果像风琴演奏那样，将电子琴琴键也用螺线管来直接敲击，则怎么也不行，因为对用微妙接触就发出电子音的电子琴来说，螺线管在琴键上一打滑，就无法演奏了。因此，要将“梳子形开关”即导电橡胶开关的接点短路，在电路的中间，通过程序来使继电器的电路接通与断开，进行音乐演奏。

也就是说，已设置在键盘上的螺线管是无用东西，所以若直接控制电子琴音源的话，就不需要螺线管及其驱动用继电器了。

大家各自花些时间，自己解决一下这些问题。如此例中所示，通过某个信号，想进行两种控制的情况下，则使用继电器(图 9)还是有效而便利的。

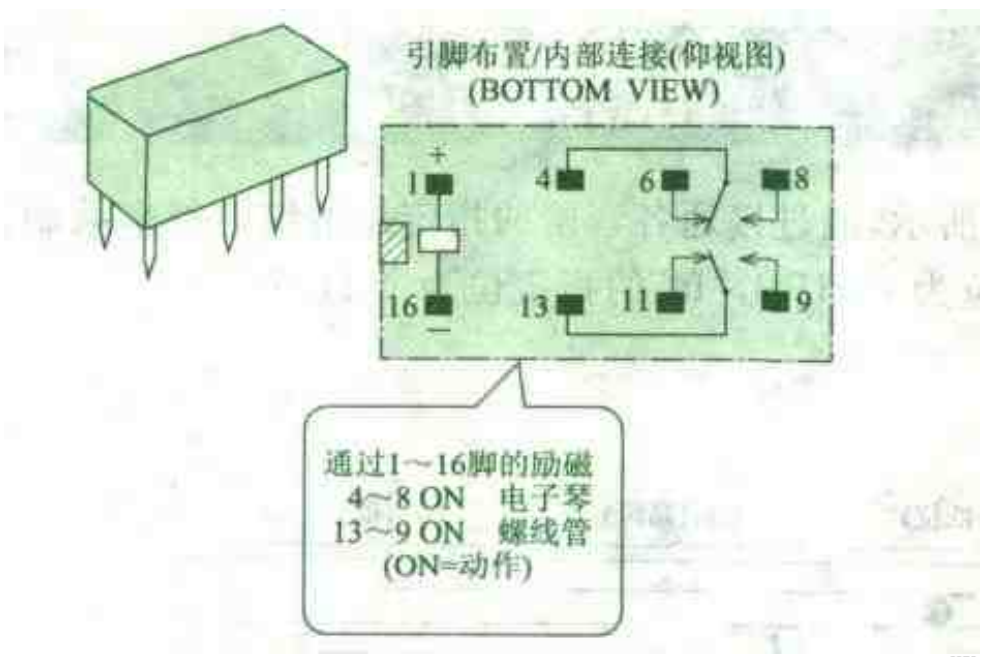


图 9　继电器的结构

Ⅷ　螺线管

如图 10 所示，螺线管是利用电磁铁吸引铁片的原理制造的。

假设图 10 中的线圈中流过电流，使可动铁芯被吸到线圈方向，向下作垂直运动，便可利用此动作来敲击琴键。

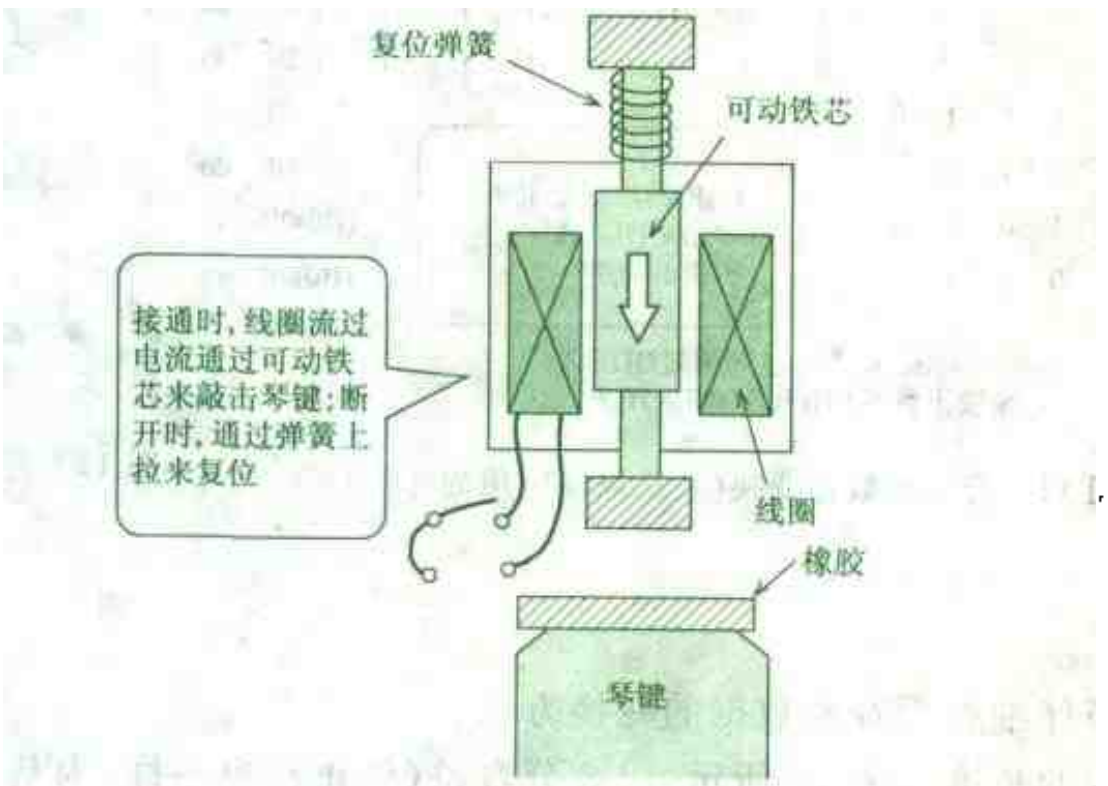
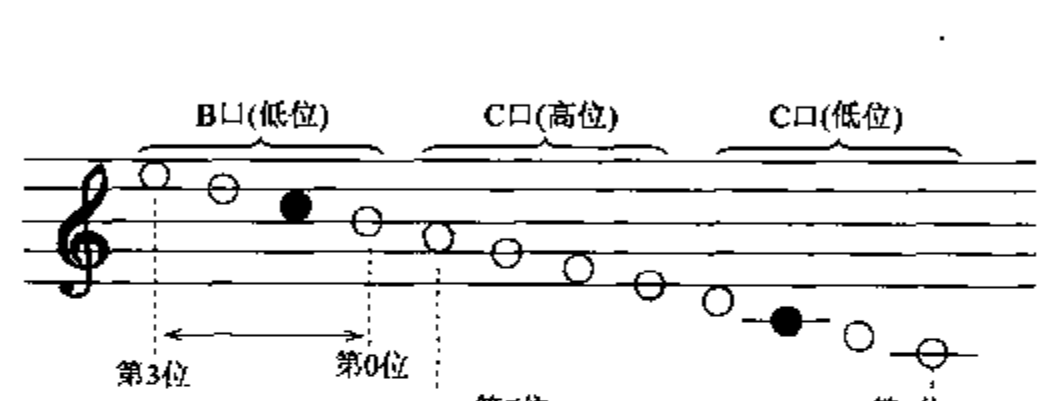


图 10　螺线管的动作原理

螺线管的复位动作是借助螺线管本身上部的弹簧来进行的,同时,为了使螺线管动作还需要用外部电源。

Ⅸ　演奏程序的编制

如图 11 所示,通过接通各音阶的指定用的继电器来编制程序。例如,低音"do"的指定位为 &HFB,"fa"的指定位为 &HDF。







第7位 ← → 第0位

1	1	1	1	1	1	1	1	&H	
1	1	1	1	1	1	1	0	FF	la
1	1	1	1	1	1	0	1	FE	xi
1	1	1	1	1	0	1	1	FD	do
1	1	1	1	0	1	1	1	FB	re
1	1	1	0	1	1	1	1	F7	mi
1	1	0	1	1	1	1	1	EF	fa
1	0	1	1	1	1	1	1	DF	so
0	1	1	1	1	1	1	1	BF	la
								7F	xi
								(E0)0E	do
								(D0)0D	re
								(B0)0B	mi
								(70)07	

所示的数是风琴所用的指定音阶数据,关于电子琴所用的指定音阶数据,应当将C口换为A口

1	1	1	0
1	1	0	1
1	0	1	1
0	1	1	1

( )内的数据是电子琴指定B口(高位)所用的音阶

因此,用do、re、mi时,可通过OUT语句来输出数据&HFB,&HF7,&HEF
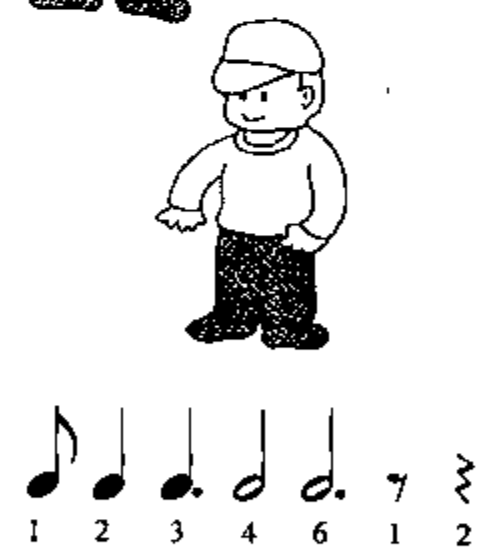


图 11　音阶的数据变换(表示风琴所用的音阶)
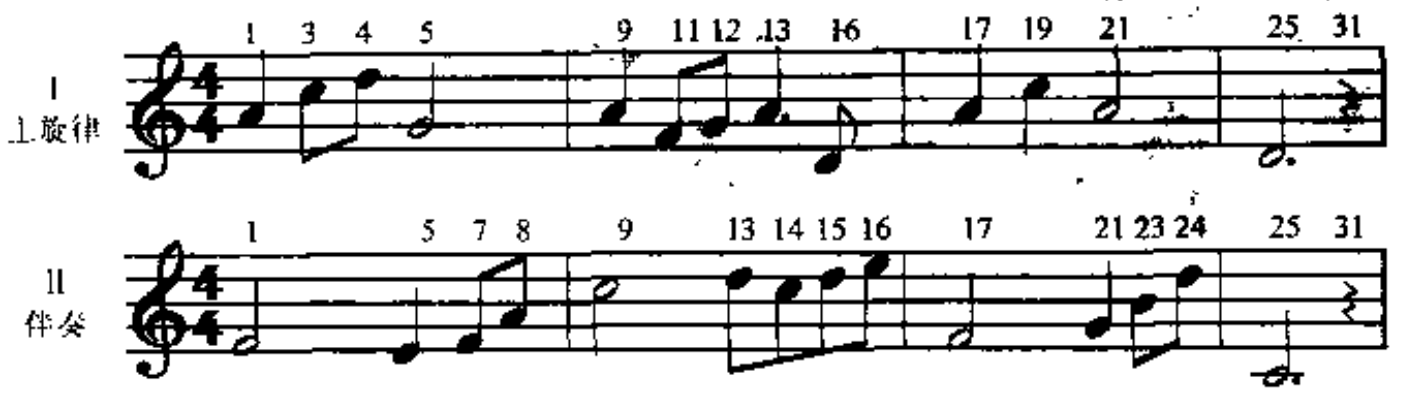
图 12　音符与休止符之间的关系

应当仔细查看音阶数据的变换方法:

发音的长度如图 12 所示,以 8 分音符(休止符也一样)为基准。

图 13 是一个乐谱程序的例子:





当N=1时,风琴 : "la"
电子琴: "fa"
当N=3时,风琴 : 高音"do"
当N=4时,风琴 : 高音"mi"
当N=5时,风琴 : "so"
电子琴: "mi"
当N=7时,电子琴: "fa"
当N=8时,电子琴: "la"
当N=9时,风琴 : "so"
电子琴:高音"do"
当N=11时,风琴 : "la"

```
"7F"  IF N=1  THEN OUT &HD 0, & H7F
"DF"          :OUT &HD 4, &HDF
"0 D"  IF N=3  THEN OUT &HD 0, & HFF
              :OUT &HD 2. &H0D
                    消除A口的音
"0 B"  IF N=4  THEN OUT &HD 2, & H0 B
"BF"  IF N=5  THEN OUT &HD 2, & HFF
              :OUT &HD 0, &HBF
"EF"          :OUT &HD 4, &HEF
"DF"  IF N=7  THEN OUT &HD 4, & HDF
"7F"  IF N=8  THEN OUT &HD 4, & H7F
"BF"  IF N=9  THEN OUT &HD 0, & HBF
"D0"          :OUT &HD 4, &HFF:OUT &HD 2,D 0
"7F"  IF N=11  THEN OUT &HD 0, & H7F
                    N=9~12之间的电子琴高音
                    "do"就发不出来了。
```

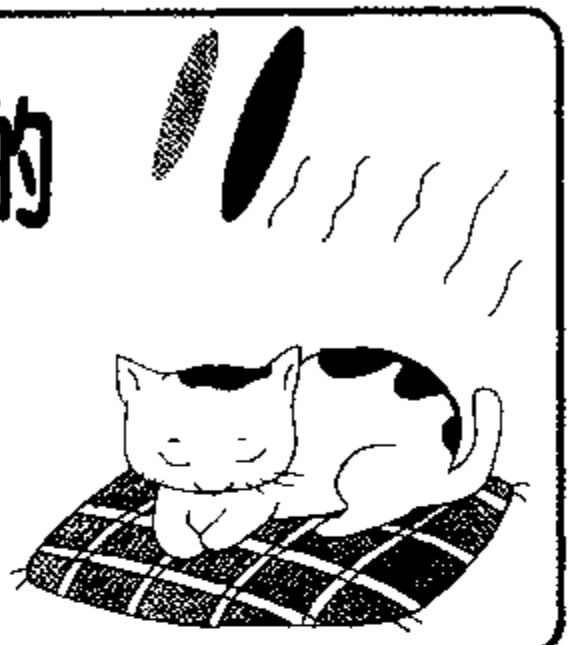
<程序例子>

```
100 T=5
110 FOR N=1*T  TO 32*T
120 IF N=1*T THEN OUT &HD 0, &H7F
              :OUT &HD 4,&HDF
130 IF N=3*T THEN OUT & HD 0, &HFF
              :OUT &HD 2, &HD 0
NEXT N
```

把一小节作为32个单位,接通随着音乐伴奏各种音符的继电器来延时

图 13 乐谱与程序的例子

2 用模/数(A/D)转换的室温控制系统



Ⅰ　室温控制的设计

我们的日常生活中，常听到这样的话："今天有点热，而且，白天时间又极长，少做点事吧"。

这句话中，用"有点"、"极"之类名词所表示的状态，应当说是指连续变化的模拟量。

计算机是处理数字量的。因此，要输入模拟量需要把它转换为数字量，才能进入计算机的输入过程。这一计算机控制中常用的术语，称为模/数(A/D)转换。

这一节中，将用日常最常见的温度变化现象这一模拟量来设计输入计算机的方法。

Ⅱ　温度控制系统

如图 1 所示，系统由以下三部分构成：

① 用最常用的热敏电阻作为温度传感器，作为模拟量的输入电路；

② 将上述的模拟量转换为数字量的转换电路；

③ 控制温度用的执行机构的驱动电路。

这里，我们探讨将来自传感器的数据输入到计算机的 A/D 转换的方法。

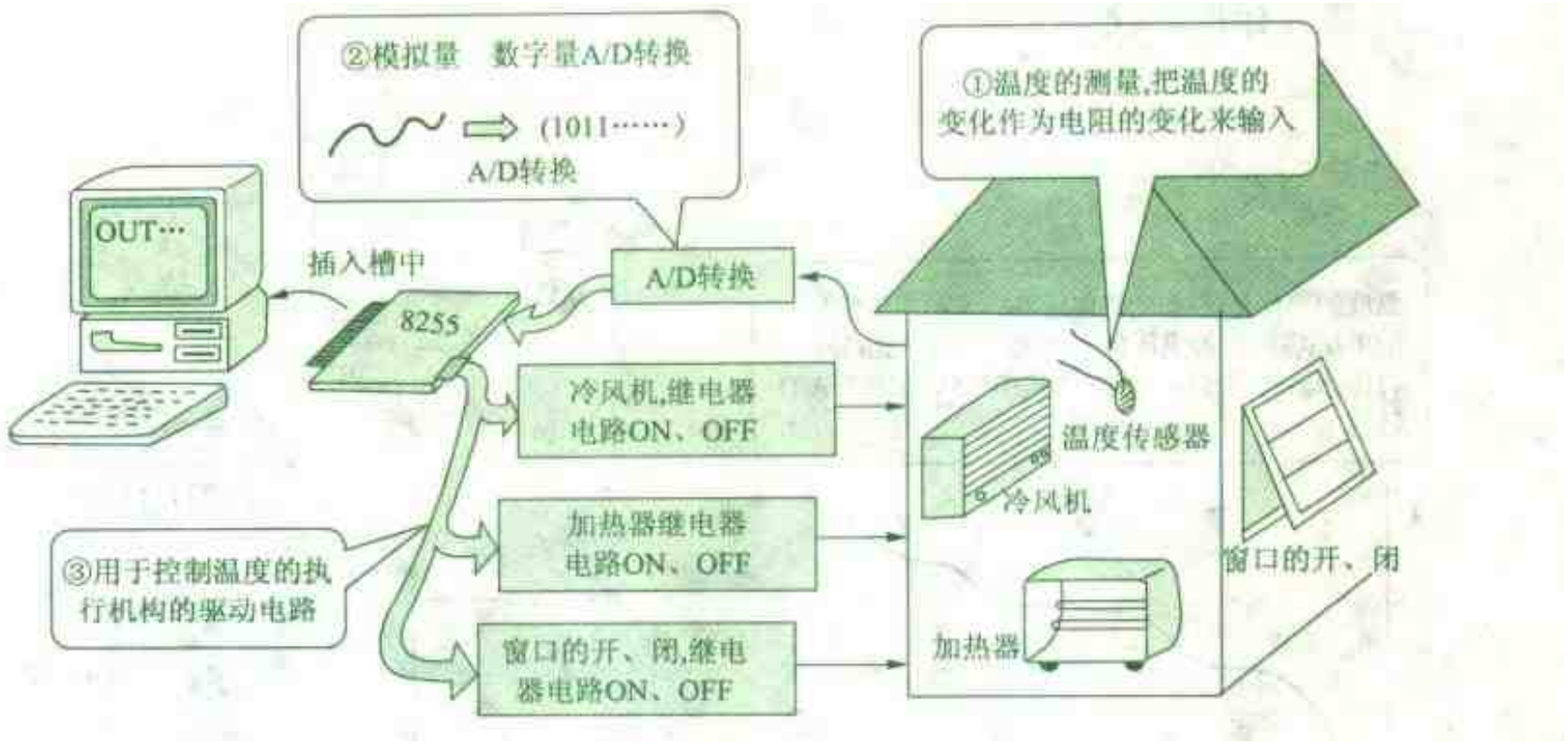
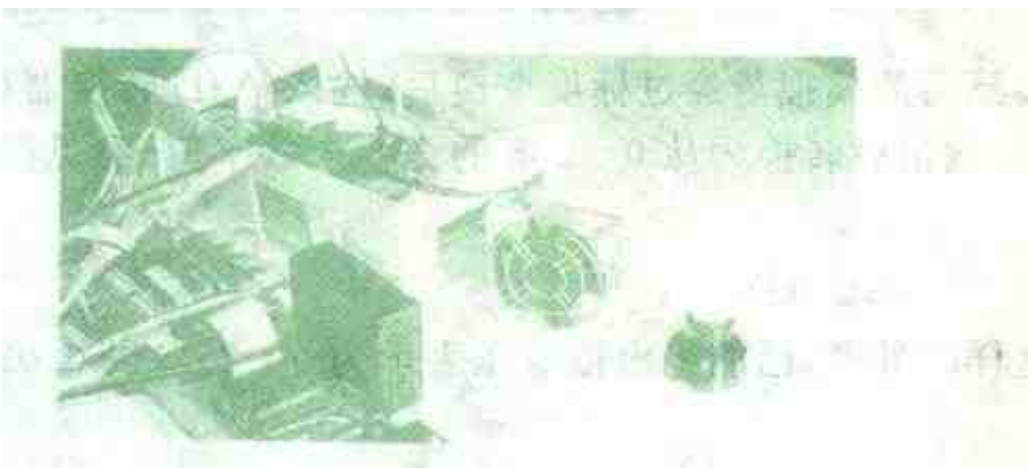


图 1　温度控制系统

Ⅲ　用A/D转换的建筑模型的室温控制

如照片 1 所示,通过温度传感器(热敏电阻)检测建筑模型的室温。当温度过低时,接通加热器(AC100V、白炽灯)的开关来升温;当温度过高时,接通降温用的冷风机开关,并且根据需要启动开闭窗户用的电动机(照片中未显示),以此来使建筑物的室温控制在一定的范围内。



照片 1　要升温用白炽灯,要降温用风机

室温的变化为模拟量对时间的连续变化,如图 2 所示。

如图 3 所示,当模拟量太微弱时要进行放大,当过大时,则要进行分压等处理,用某一范围的电压,如变换为 0～5V 之后再来进行 A/D 转换,把这种变换

处理称为标度变换。

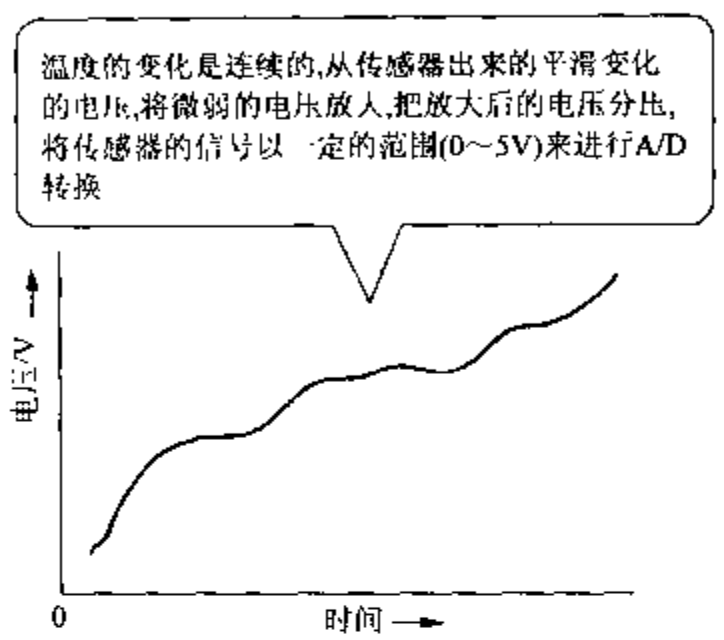


图 2　模拟信号的变化

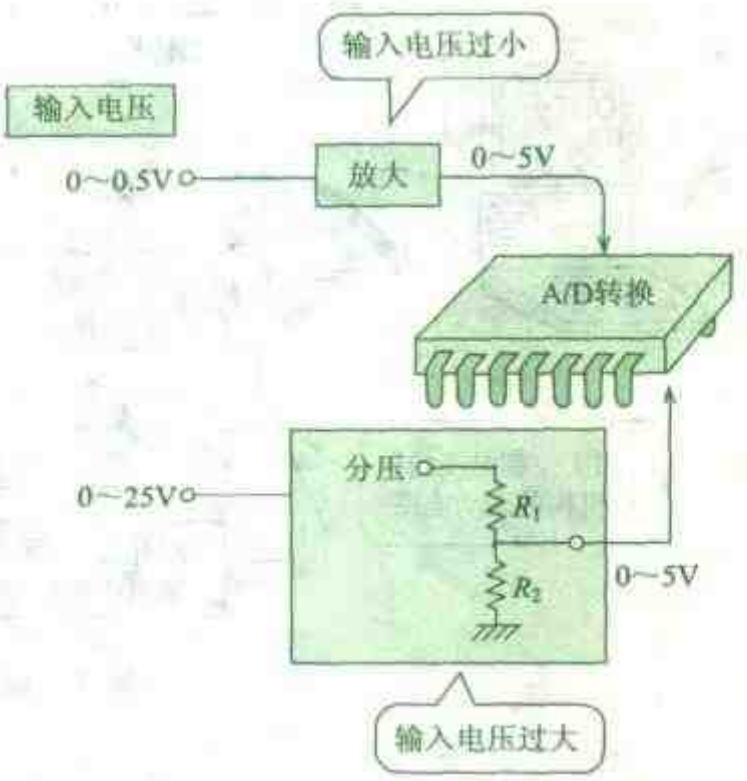


图 3　标度变换的例子

将模拟量转换成数字量的装置称为 A/D 转换器(AD Converter)。

下面探讨 A/D 转换是如何进行的。

Ⅳ　A/D 转换的构成

来自传感器的模拟量经过标度变换后,输入 A/D 转换器(例:0～5V)。对应此时的值,输出就转换为从 0～255 的 256 个数字值(参见图 4),每 1 位的对应值为

$$5V/255\approx0.02V$$

通过这样的处理,已能将模拟电压表示为 0～255,以 0.02V 为单位的 256 个数字量。

现在,若从传感器取得 3.5V 输入电压,此时的数字量即为:

$$x=255\times(3.5/5)\approx178$$

$$178=2^7+2^5+2^4+2^1$$

(1011 0010)这个二进制数可以作为 A/D 转换后输入个人计算机的数据。

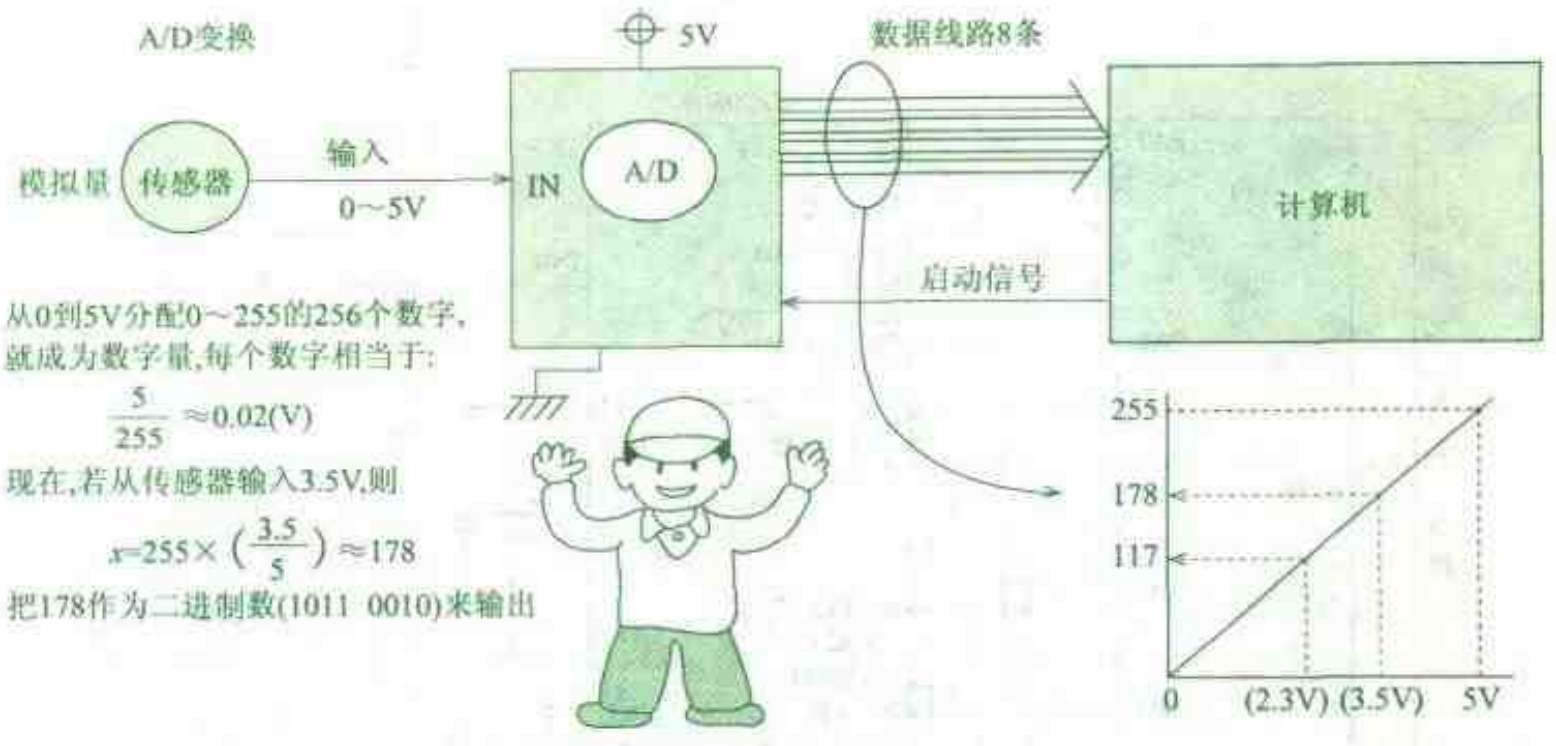


图 4　A/D 转换的构成

再举一个例子：

输入为 2.3V 时，

$$x=255\times(2.3/5)=117$$

$$117=2^6+2^5+2^4+2^2+2^0$$

因此，可将二进制数(0111 0101)作为从传感器输入到计算机的数据，这样的二进制数是将十进制数二的次幂展开，将其系数排列起来就得到这个二进制数。

因此，0～5V 就可转换为(0000 0000)～(1111 1111)的数字量。

Ⅴ　控制电路的组成

图 5 是 A/D 转换器的电路详图，将从温度传感器(热敏电阻)的输入送到 A/D 转换器。这里用的是松下公司制造的 ADC 0809 集成电路。

经过 A/D 转换的数据输入计算机，根据程序所设定的温度控制利用加热器或冷风机的执行机构进行开关。来自个人计算机的信号输入到能直接控制 AC100V 的半导体继电器 SSR(固体继电器)，完成对执行机构的驱动(参见照片 2)。

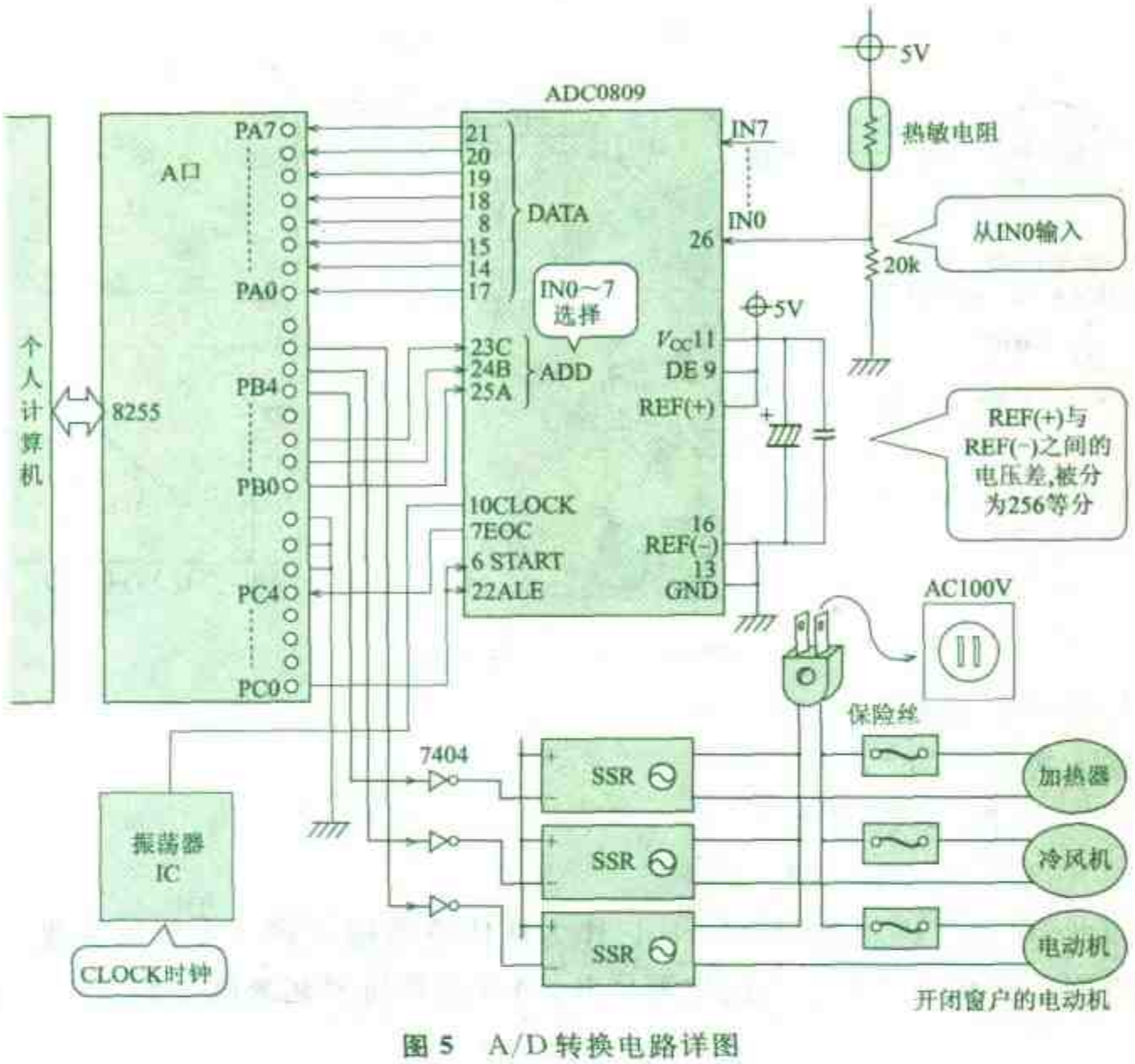
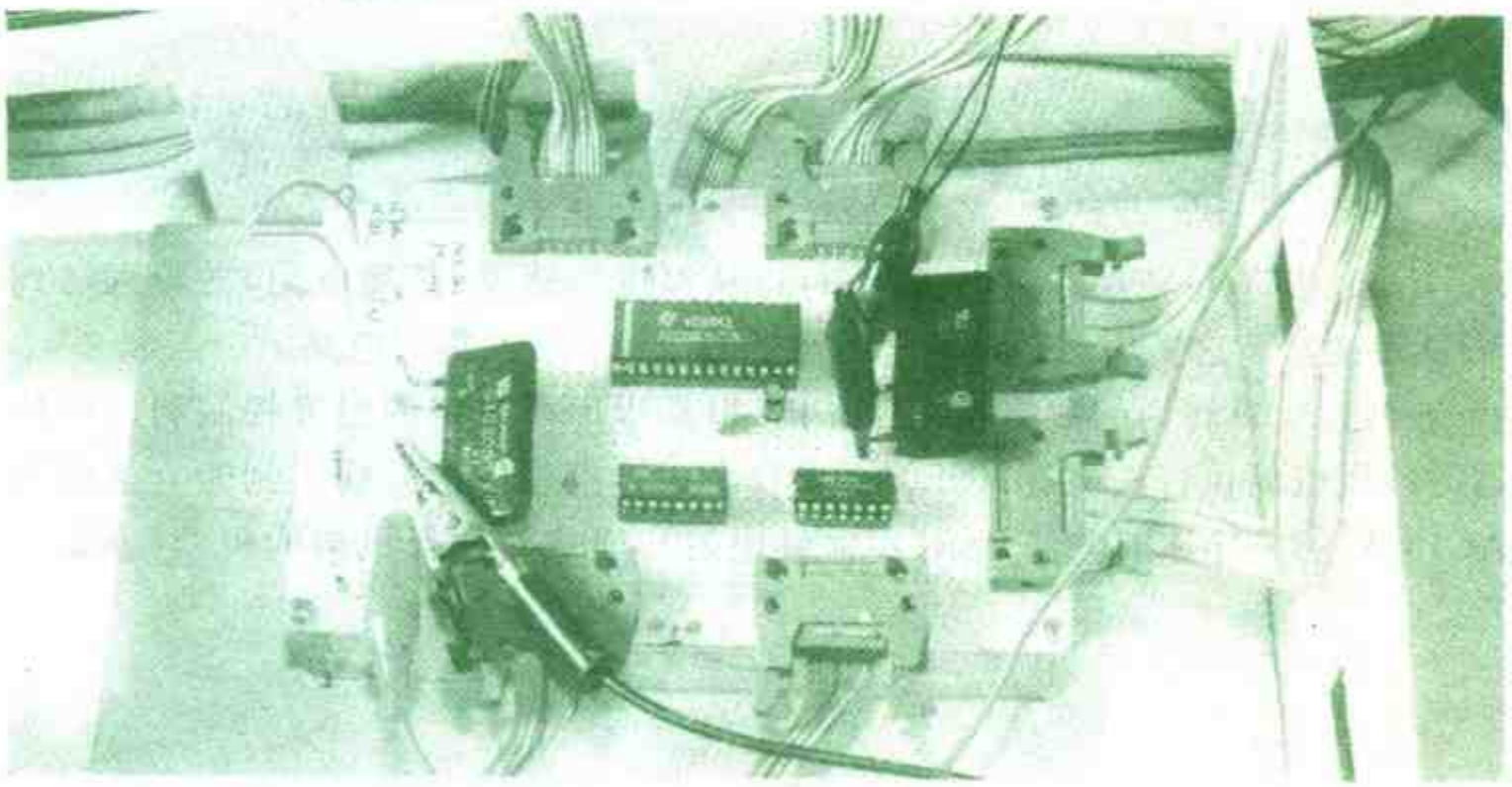


图 5　A/D 转换电路详图



照片 2　A/D 转换器(中间)与固体继电器(两处)

Ⅵ 关于A/D转换器(ADC 0809)

将计算机所要处理的模拟量转换为数字量的是A/D转换器,我们来考察一下常用的"ADC 0809"系列的电路。"ADC 0809"有以下特征:

① 将0～5V的模拟输入电压变为256(0～255)个数字量的集成电路;

② 模拟输入端有8个通道,可通过程序来选择。用B口输出的信号来选择输入管脚;

③ 与其他的IC一样,工作电压为5V;

④ 在REF(+)与REF(—)脚之间施加两个模拟电压,此时为5～0V,分别为它们的上下限,中间就如同前面所说的分为(0000 0000～1111 1111)的256个二进制数字;

⑤ 其启动脚连接在C口的第0位上,若输入"0"→"1"→"0"的信号,就开始A/D转换;

⑥ 约100ms后,当个人计算机确认转换结束(用C口的第4位来进行EOC检验)后,就将来自A口的数据输入计算机;

⑦ 为了从外部加入采样脉冲,使用了IC振荡器。

Ⅶ 用热敏电阻检测温度的电路结构

现在,如图6所示,将在25℃时电阻值为20kΩ的电阻串联,并加上5V的电压。

由于温度的变化,热敏电阻的阻值也随之变化,使中间点的电位产生变化。这样,通过对中间点电位的测量,就可能反过来推算出测量电阻值时的温度。

由图6可知,输入A/D转换器的电压V的大小与热敏电阻阻值X之间存在以下的关系:

$$V/(5-V)=X/r(X=\text{已知电阻:设定为 }20\text{k}\Omega)$$

由该式可求得X为:

$$X=V/(5-V)\cdot r[\Omega]$$

A/D转换器将基准电压分为255等分,将输入电压转换为某一相应的数字值来输出,将这一输出读入"8255"口中,代入热敏电阻的阻值与温度的关系式中(从热敏电阻的温度特性求得的测量温度近似公式),即可计算出实际温度。并将它输出到CRT或打印机等外围设备中。

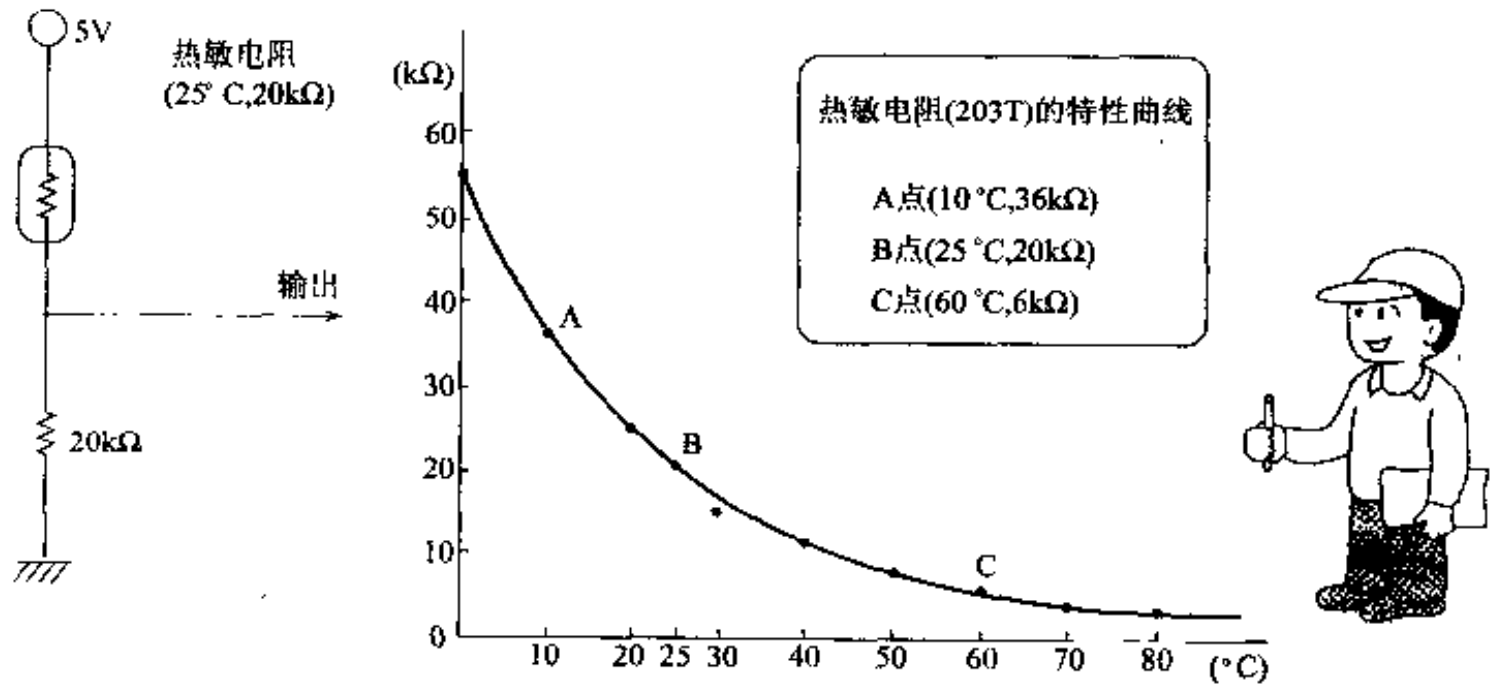


图 6　用热敏电阻检测温度的电路结构

温度近似公式的求法

根据所用的热敏电阻(203T)的阻值-温度特性表(购买热敏电阻时可向商店索取),画出如图 6 所示的电阻-温度特性曲线。

现在　A 点　10℃　36 kΩ

B 点　25℃　20 kΩ

C 点　60℃　6 kΩ

通过这三点画出近似曲线

$$H=a/(X+b)+c \tag{1}$$

在 10℃时,$10=a/(36+b)+c$ (2)

在 25℃时,$25=a/(20+b)+c$ (3)

在 60℃时,$60=a/(6+b)+c$ (4)

从式(2)、式(3)、式(4)可求得

$a=613$, $b=3.4$, $c=-5.6$

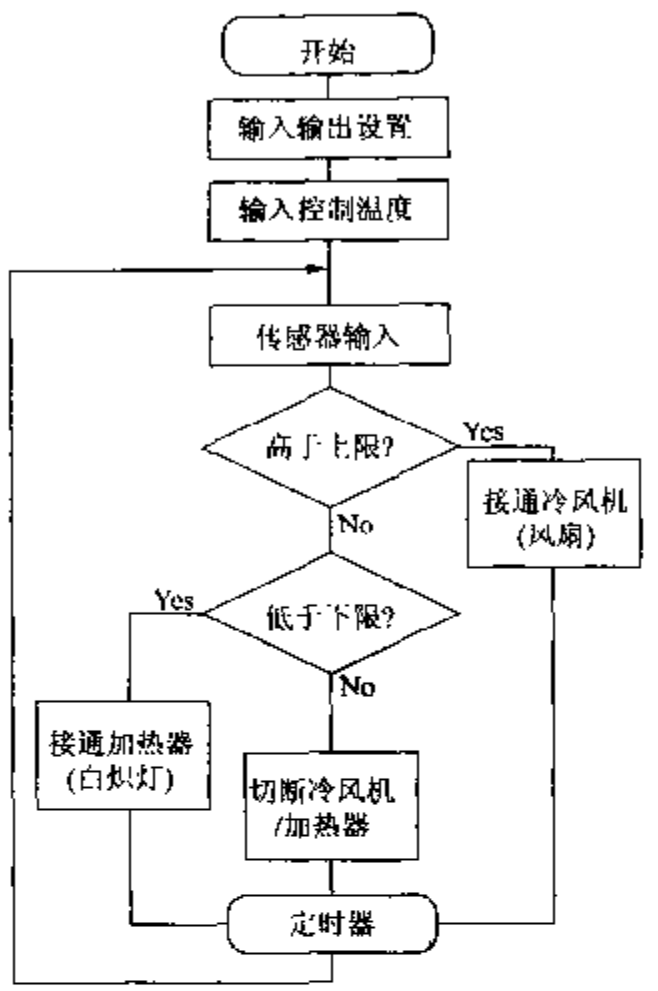
将它们代入式(1),得

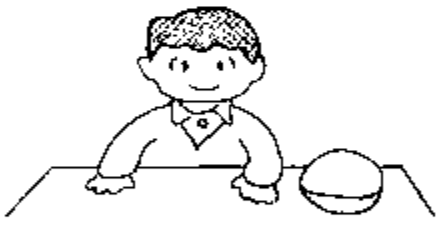
$$H=613/(X+3.4)-5.6$$

现在,将 10~60℃时的电阻值代入近似公式,就可求得大致的温度值。

下面,我们列出用这一近似公式的 A/D 转换程序。

Ⅷ　用A/D转换器来测量温度的程序





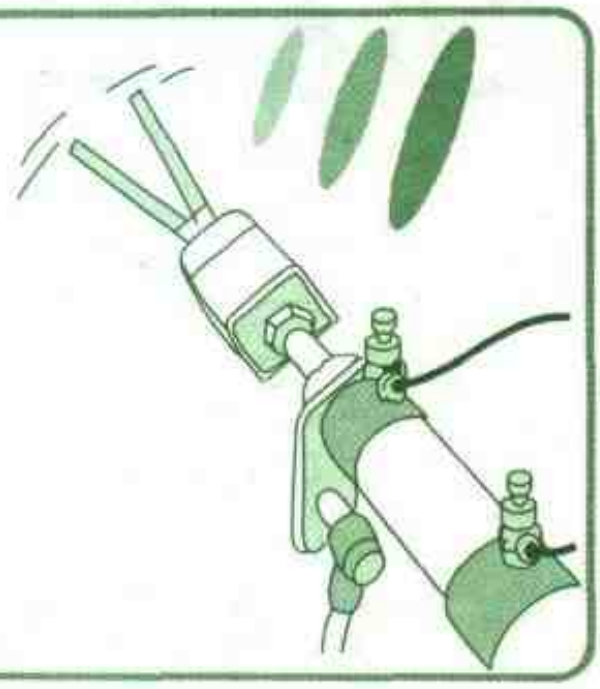
```
10   REM 热敏电阻
20   OUT &HD6,&H98
30   INPUT "HIGH LIMIT";A
40   INPUT "LOW LIMIT";B
50   OUT &HD2,0
60   OUT &HD4,0
70   OUT &HD4,1
80   OUT &HD4,0
90   CN=INP(&HD4)   :CN=CN AND &H10
100  IF CN=0 THEN 90
110  DT=INP(&HD0)   :DT=DT AND &HFF
120  V=DT*5/255
130  X=(5-V)/V*20
140  H=613/(X+3.4)-5.6
150  PRINT USING"##.#℃";H
160  IF H>A THEN 200
170  IF H<B THEN 300
180  OUT &HD2,0: GOTO 400
200  OUT &HD2, &H20: GOTO 400
300  OUT &HD2, &H10: GOTO 400
400  FOR T=0TO10000:NEXT
410  GOTO 60
```

程序说明

第 20 行	设置 A 口、C 口(高位)为输入,B 口、C 口(低位)为输出
第 30,40 行	从键盘输入设定的温度
第 50 行	设置传感器的输入地址……从 IN0 输入
第 60,70,80 行	产生启动脉冲
第 90 行	从 C 口输入变量 CN,进入下一行 &H10
第 110 行	输入数据,16 位中的低 8 位有效
第 120～140 行	代入计算温度的近似公式
第 150 行	显示温度
第 160～410 行	根据条件,接通或切断冷风机或加热器
第 400 行	可根据需要,用定时器调整测量的时间间隔
第 410 行	(无条件循环)

通过执行程序,当低于设定温度时,白炽灯接通(升温);而高于设定温度时,电风扇接通(降温),就能控制建筑模型的室温。

3 汽缸控制的气动机器人系统



Ⅰ 机器人控制的设计

有人说,科技发展到最后一定能制造出能力超过人的机器人。

“机器人”这个名词,若查阅字典的话,就是“用电力驱动的人工制造的人”。且不说机器人是否有超人的能力,但是机器人在人们不愿意工作时,特别有用。比如说:

① 简单的重复工作;

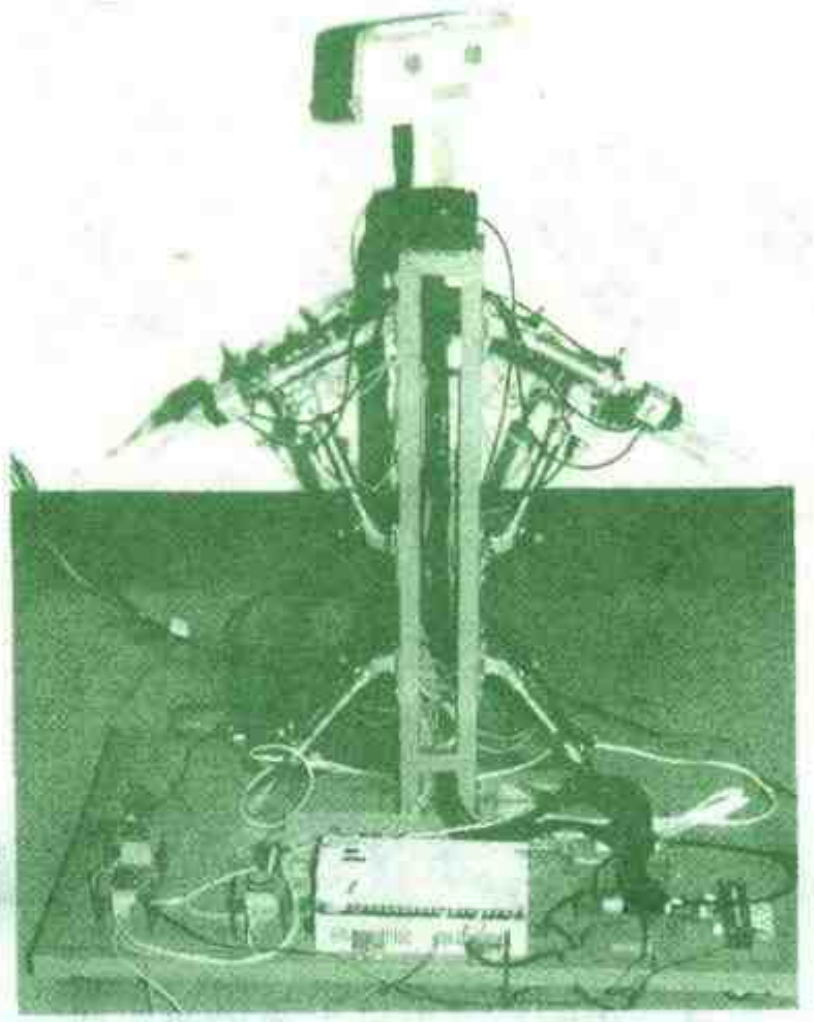
② 危险性大的作业环境。

其中之一就如同大家所知道的建造高速公路的工程现场,有充当旗工的“机器人”,开始见到时就有一种实在做得妙的感觉。也可以说这是一种“能够与人类共存的机器人”的做法。

因此,对于尝试用计算机来控制的人,其梦想之一就是自己制作机器人。在这里,我们来制造一种利用汽缸的个人计算机控制的机器人,它作为自动化、减轻劳动强度的机器人,正用在实际工厂的作业现场,这就是称为气动控制装置的机器人(气动机器人)。

Ⅱ 气动机器人的特征(参见照片 1)

① 无论多少个气动执行机构,都可通过个人计算机输出的 ON/OFF 信息来工作;



照片 1　气动机器人

② 通过汽缸的任意组合，能随意地变更各部分的动作；

③ 连续动作或单个动作都能用程序实现；

④ 汽缸的动作，可以通过速度控制器来任意设置“喷射一样地快速动作”，也可以设置“像放气那样地缓慢动作”；

⑤ 气动控制不存在液压控制中的漏油问题，无需防漏油措施；

⑥ 通过更换接线，就能进行顺序控制器与执行机构的控制，实际上，也试验了顺序控制器的电路。

Ⅲ　气动机器人驱动系统的概要

来自个人计算机的信号，通过晶体管的放大，再驱动继电器。所有执行机构的气阀，由于需要用 DC24V 来驱动，所以其结构要通过继电器来接通和断开螺线管(参见图 1)。也就是说，工作电压为 DC24V 的螺线管，气阀的阀芯在继电器接通时被吸引，改变压缩空气的流向，就能控制汽缸的移动。

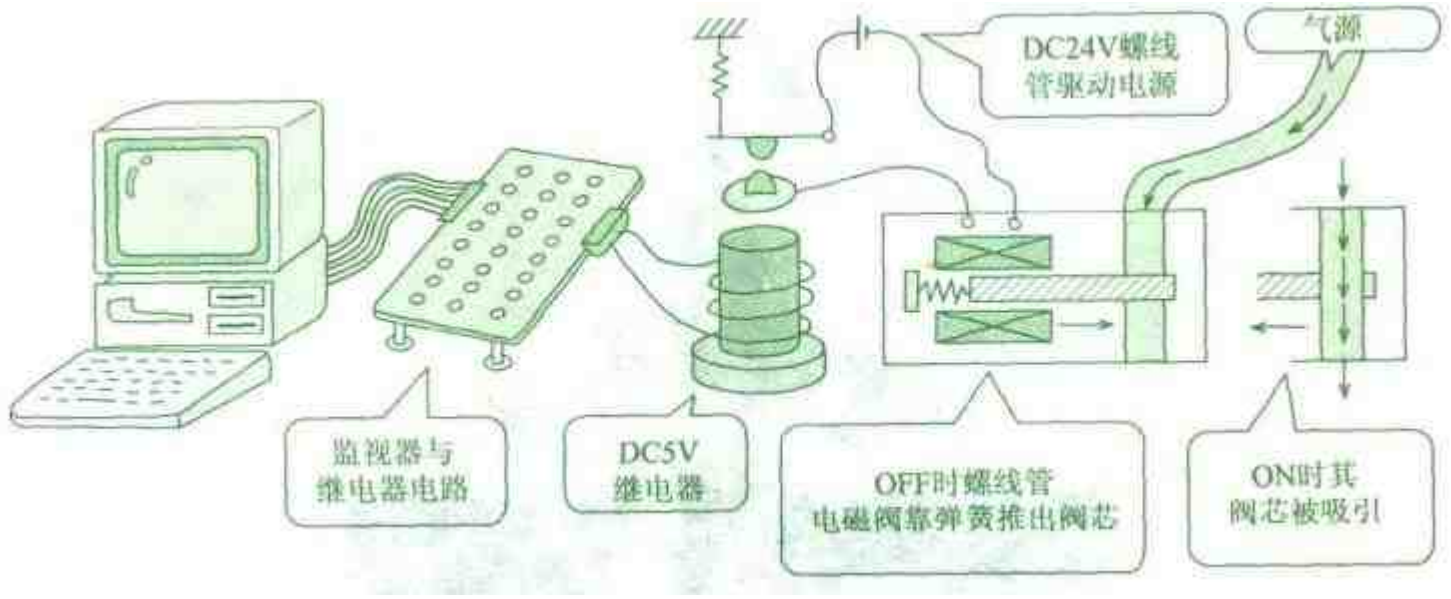


图 1　气动机器人控制系统总图

Ⅳ　电路图

电路图与以前介绍过的用晶体管的继电器电路相同。

继电器电路(汽缸所用的)也通过另外的电源供电,常用于驱动执行机构的控制中。但是,应当特别注意,连接在继电器上的所能控制的执行机构的功耗,不要超过电源所允许的容量。

如图 2 所示,接口的第 0 位到第 7 位与继电器连接。

接在继电器上的二极管是为消除继电器断开时所产生的反电势的措施。

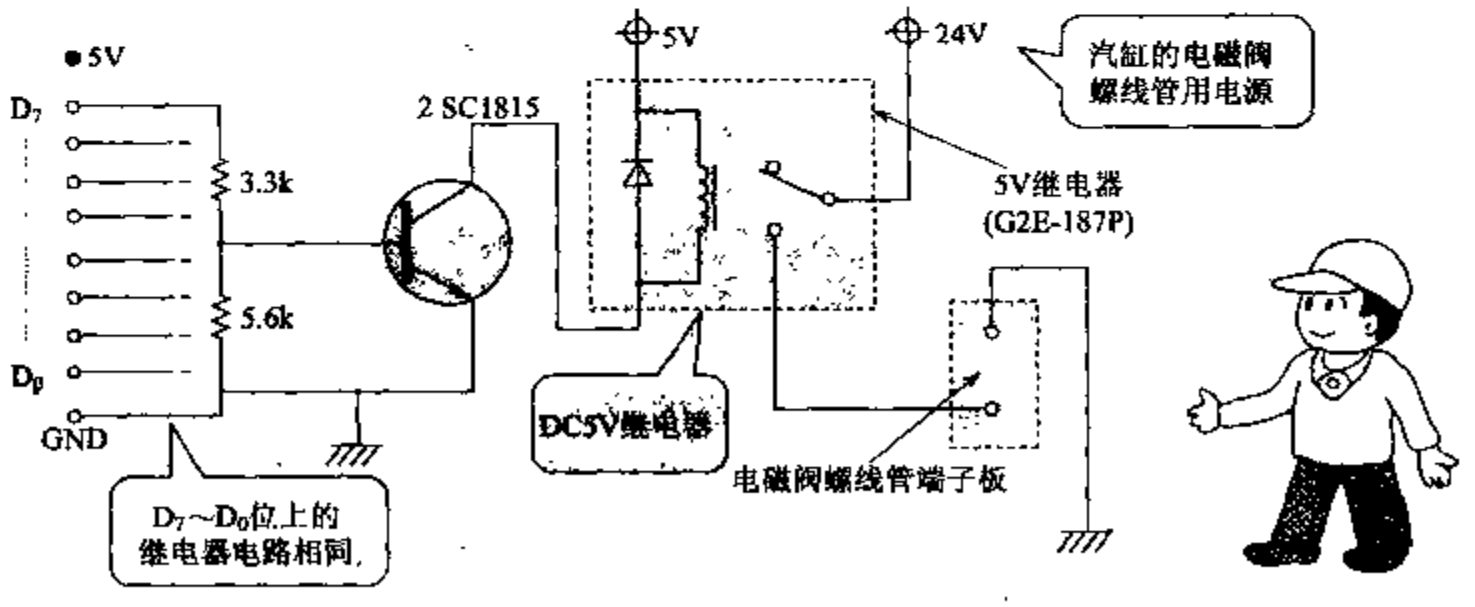


图 2　继电器电路与电路结构

表1　继电器的规格

开关部分

项目 \ 负载	电阻负载 $\cos\phi=1$	感性负载 $\cos\phi=0.4$ L/R=7(ms)
额定负载	AC110V 0.5A DC24V 1A	AC110V 0.2A DC24V 0.3A
额定电流	2A	
最大接点电压	AC125V DC60V	
最大接点电流	1A	
最大接点功率	120VA 30W	60VA 15W
最小适用负载 (P级效率参考值)	DC5V 1mA(DC0.1V,0.1mA) (高灵敏度类型)	

确定接点部分的规格

操作线圈

型式项目 / 额定电压/V		高灵敏度型 额定电流/mA	高灵敏度型 线圈电阻/Ω	动作电压/V	返回电压/V	最大允许使用电压/V	消耗功率/mW
DC	1.5	125	12	70%以下(80%)	10%以上	110%(130%)	约450(约200)
	3	66.7	45				
	5	41.7	120				
	6	33.3	180				
	9	22.5	400				
	12	17.1	700				
	24	8.6	2 800				

注:P级效率$\lambda_{60}=0.1\times10^{-6}$/次

V　气动执行机构的知识

气动执行机构的构造

气动执行机构的基本动作如图 3 所示，就是汽缸的活塞杆的前进或后退。若在汽缸后方的口或前方的口(此口不是 8255 上的控制口，这里是指汽缸动作用的气道口)送入压缩空气，则活塞及活塞杆就会运动。此时，压缩空气的流向是由电磁阀(螺线管阀)来控制的。

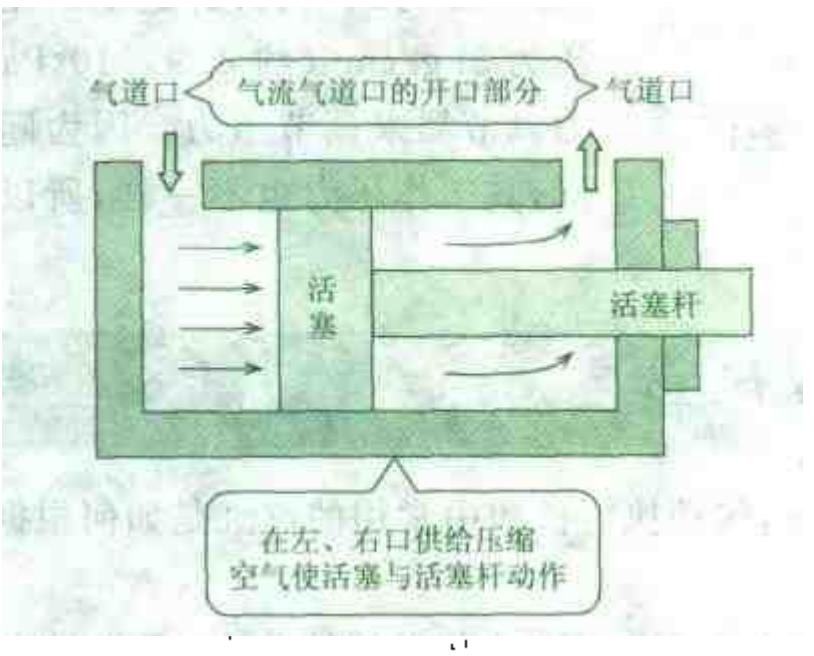


图 3　汽缸的基本动作

图 4 中所示的用个人计算机控制，指的就是控制安装在各汽缸上的电磁阀的动作。

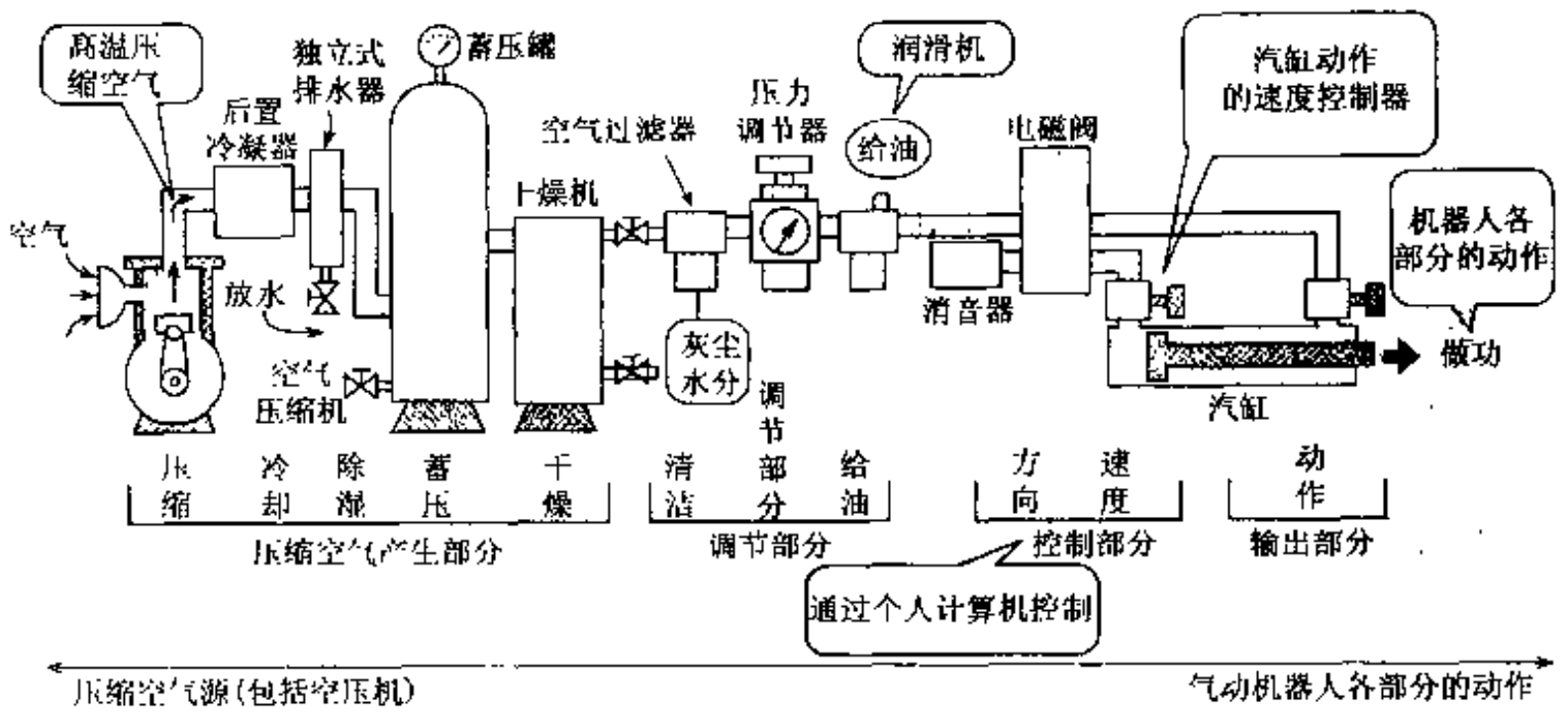
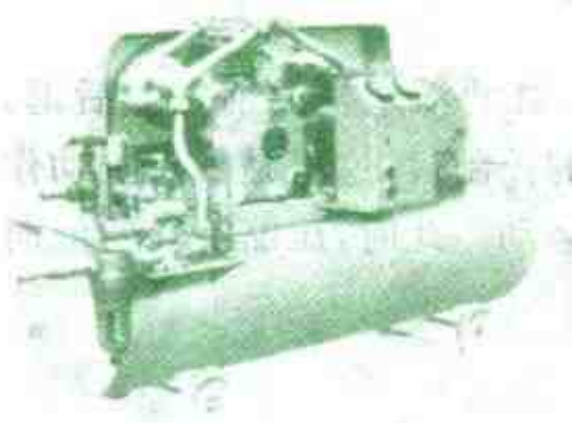


图 4　气动执行机构的构造与个人计算机控制

● 气源



照片 2　空气压缩机

压缩空气的气源就是指“使汽缸动作的动力来源”，即动力源。通常，通过称为空气压缩机的装置来提供压缩空气(参见照片 2)。空气压缩机的结构如图 4 所示，其主要的结构为压缩空气发生源，及让其压力能为汽缸所用的调节部分(称为压力调节器)。这里所用的驱动汽缸的气压为 5kg/cm^2(约 4.9×10^5Pa)，并且必须用压力调节器来调节压力。因为随着汽缸的规格不同，其工作压力也不一样，所以要根据所用的机器来调整。

Ⅵ　汽缸动作的组成

我们来探讨一下，气动执行机构中常用的汽缸是如何根据个人计算机发出的信号进行工作的。

图 5 表示螺线管的信号 OFF 时电磁阀的状态，通常带有两组对称出入口的“移动阀块”称为滑阀，通过弹簧的推力将它压在一端。

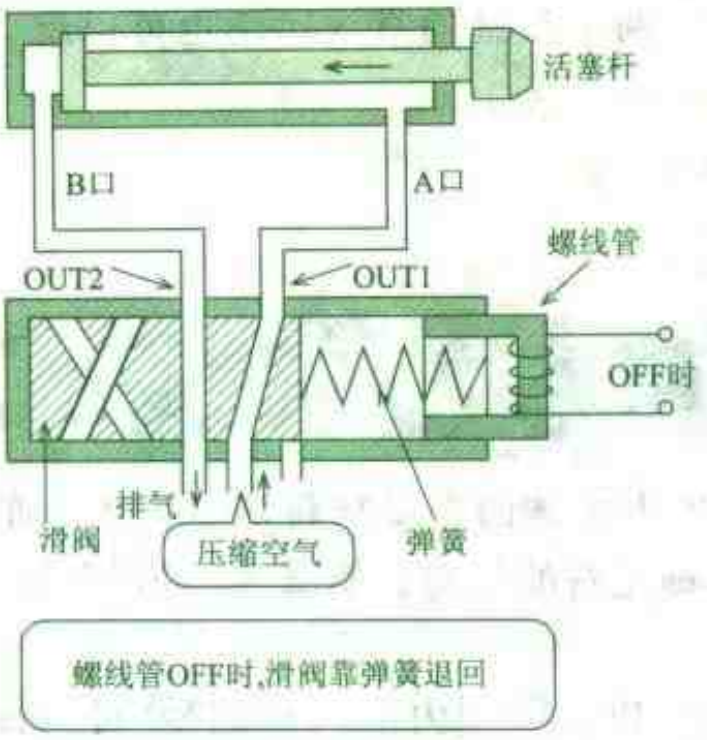


图 5　汽缸的动作(信号 OFF 时)

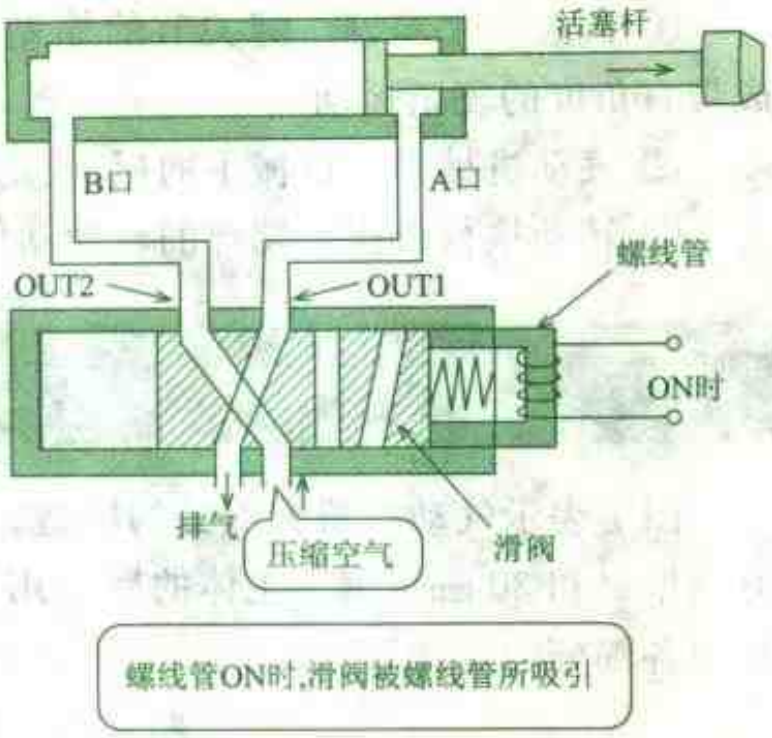


图 6　汽缸的动作(信号 ON 时)

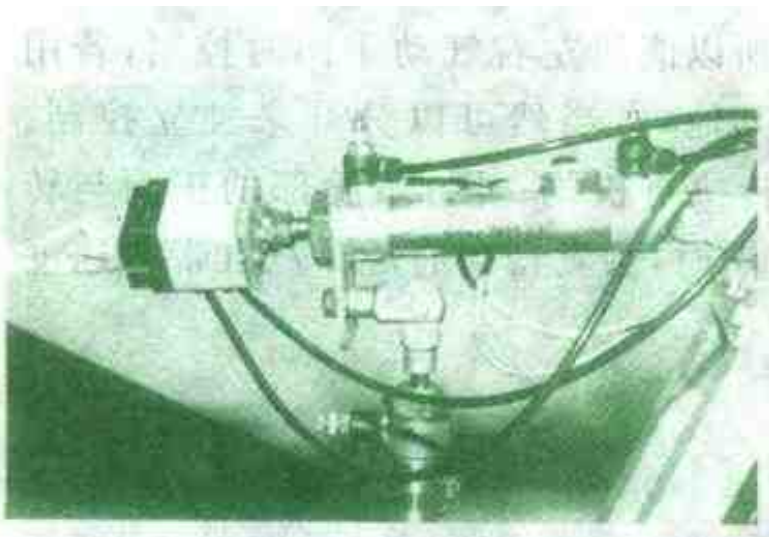
因此,压缩空气从电磁阀的 OUT1 进入滑阀的另一边,活塞将汽缸内的空气从 B 口排出,所以如图 5 所示,活塞杆退回。

当螺线管的信号 ON 时,电磁阀被磁化,如图 6 所示,阀芯被吸到另一端。因此压缩空气从 OUT2 进入 B 口,使活塞杆伸出,然后从 OUT1 排出空气。这样,切换送往螺线管的信号,使阀芯移动,就可改变压缩空气的方向,控制活塞杆的移动。

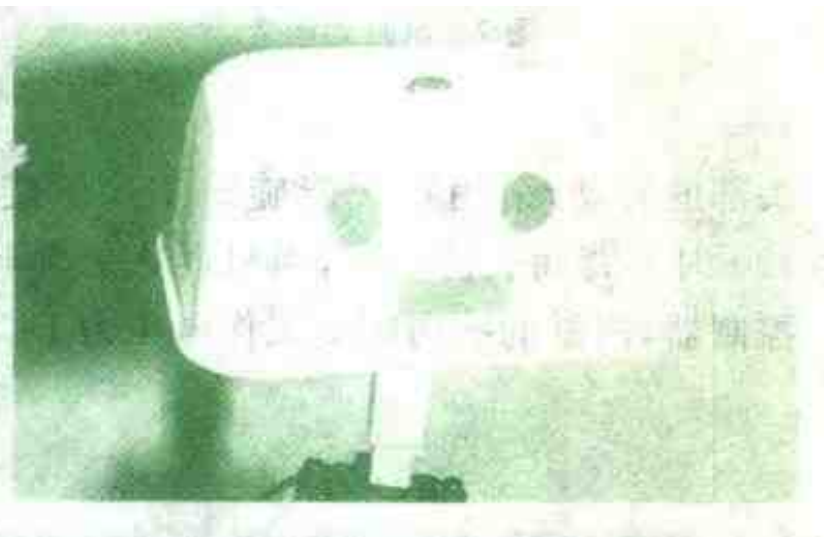
其基本原理与其他气动执行机构的动作相同。

Ⅶ　气动执行机构的种类

气动机器人使用照片 3、照片 4 所示的三种气动执行机构。



照片 3　气动机械手



照片 4　旋转式执行机构

① 汽缸　手腕、肩、脚关节的伸缩动作(两个汽缸的直线运动也可以组合成带有角度的复杂运动)；

② 气动机械手　机械手的抓、放动作；

③ 转动执行机构　端部的转动动作。

气动机器人的构造

图 7 表示气动机器人汽缸的构造。机器人主体的主要材料是□25 磨光的方钢型材和 30 mm角钢。主体的底座用 25 mm左右的板材。图 8 表示所用的汽缸与各部分的动作。

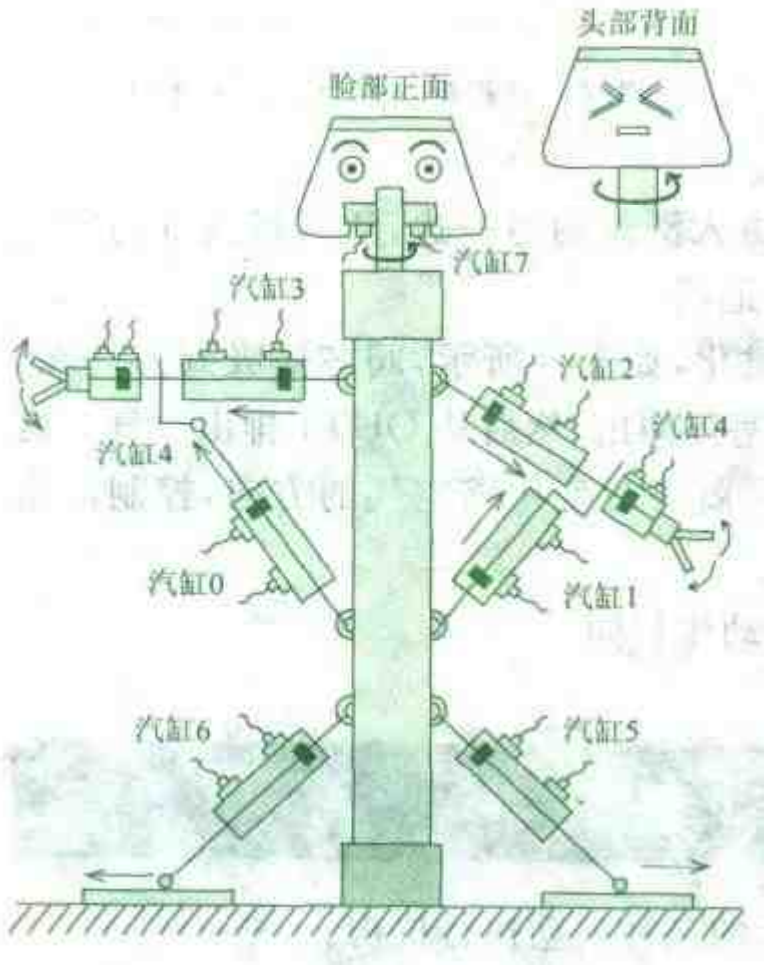


图 7　汽缸的构造

以下[　]内的汽缸编号，可对照图上的相应编号：

手腕的抬起与放下[汽缸 0、汽缸 1](汽缸直径 25 mm，行程 75 mm)；手腕的伸缩[汽缸 2、汽缸 3](汽缸直径 20 mm，行程 50 mm)；手的抓、放[汽缸 4](气动机械手、左右各 1 个)；脚的伸、缩[汽缸 5、汽缸 6](汽缸直径 25 mm，行程 50 mm)；头部的转动[汽缸 7](旋转执行机构，转动 180°)。

因手腕的抬起与放下动作的幅度影响到整个机器人的动作幅度，所以要选用行程大的汽缸。并且，手的抓、放动作是两个手同时控制的。这里对气动机器人的控制，只用 C 口的 8 位，所以能使左右气动手同时控制，若用其他口，当然可以分开来独立控制。头部的转动，采用每次能旋转 180°的旋转执行机构。因此，脸部的正面与转 180°时的背面表情不同，当机器人的脸转动时，会觉得很有趣。汽缸带有速度控制器，汽缸的换向阀的工作电压为 DC24V。

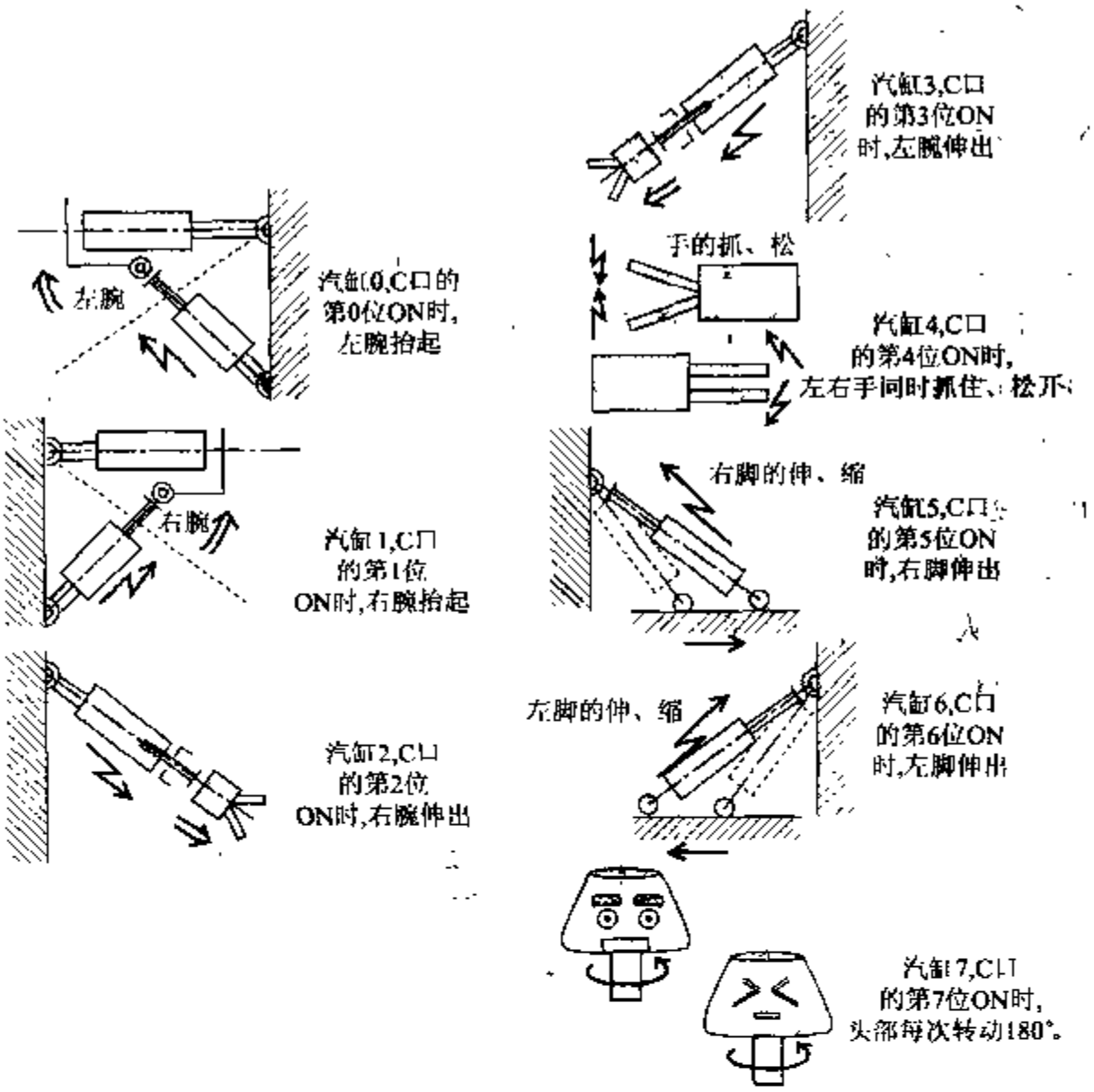
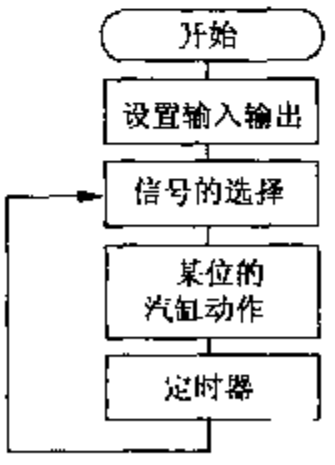


图 8 汽缸各部分的动作

Ⅸ 气动机器人程序的编制

以前介绍的机器人是用继电器控制的,所编制的程序是分别对继电器进行的 ON/OFF 控制。现在要让各汽缸按时序连续地动作,其程序如下:




```
10  REM 机器人
20  OUT &HD6, &H80
30  FOR I=0 TO 7
40  OUT &HD4, 2^I(^表示乘方)
50  FOR T=0 TO 2000: NEXT T
60  NEXT I
```

第30行每次选择一个汽缸。

第40行从C口输出使汽缸动作的信号。

(第40行的2^0～2^7,作为数据是以"1、2、4、8、16、32、64、128"来输入的,使各个输入口位依次成为"1"也是方法之一)。

如图9所示,要使汽缸1、汽缸2、汽缸4同时动作,只要把分配给汽缸的相应各输入口同时从C口输出"ON"的数据就行了。

现在,因汽缸1所对应的信号为1,汽缸2的信号为2,汽缸4的信号为4,因此,此时的数据为:

二进制数:(0001 0110);

十六进制数:(&H16)。

所以,若从C口输出数据

OUT&HD4,&H16

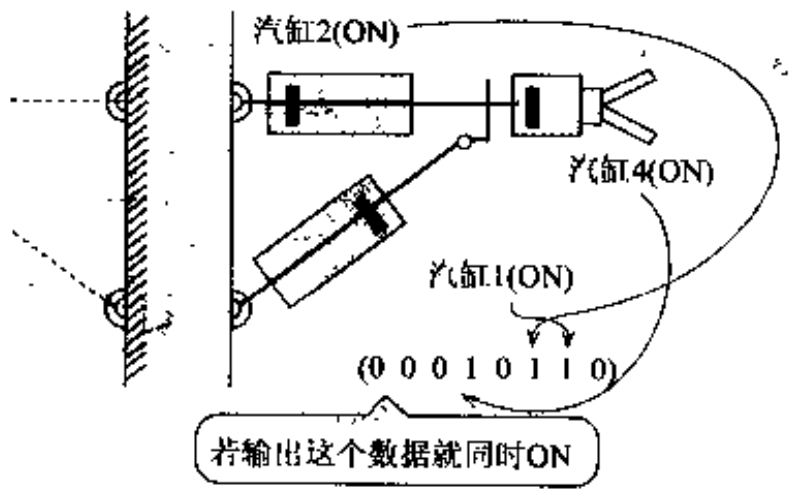


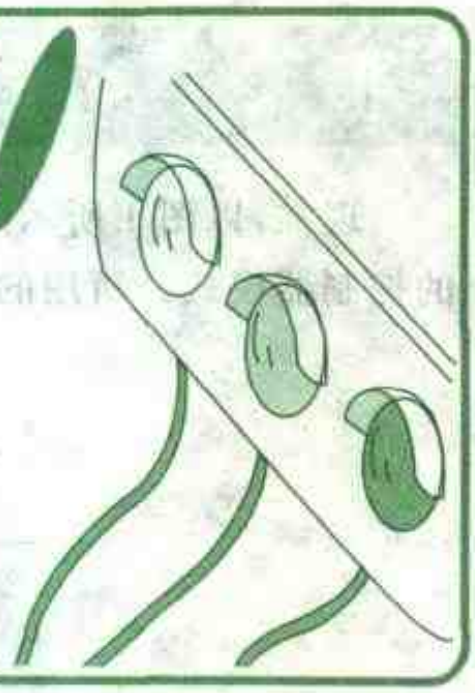
图9 三个汽缸的驱动

则如图9所示,三个汽缸就会"啪"的一下同时动作。&H16也可改变为十进制数

OUT␣&HD4,22

以这种方法依次组织数据,就能使机器人做各种动作。

4 用继电器控制的交流100V交通信号灯控制系统



I　交通信号灯的设计

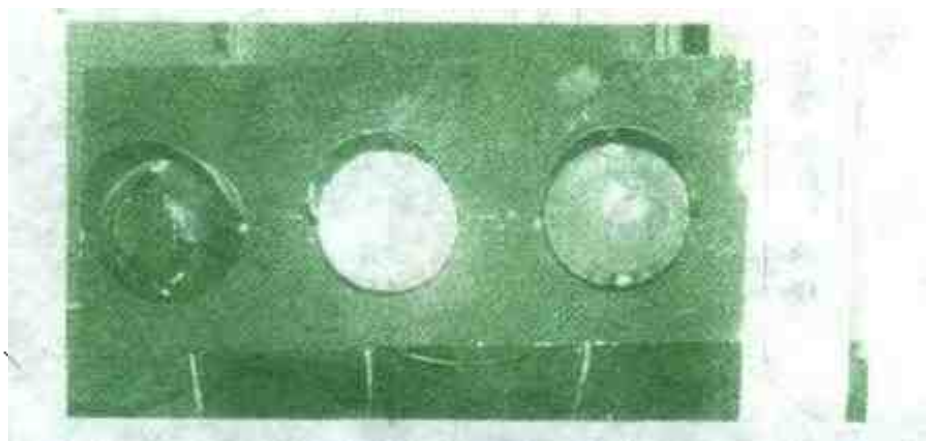
根据时间一次一次地改变状态，交通信号控制器就是这类所谓“顺序控制”的产物。

大家认为作为控制练习用的动作模型，像交通信号控制器那样按事先规定的顺序动作，是非常合适的对象。其理由是，执行装置的动作（这时是信号控制器）与程序的关系、目标的动作状态，例如信号灯颜色从“红”变“绿”再变“黄”的动作过程，都能清晰而形象地反映出来。

用信号灯控制器时，若再增加一组信号检测器的指示灯，通过组合使用，可控制更复杂的模式（6 盏指示灯）。

现在，若将指示灯换成电动机，则与设计控制电动机 1 到电动机 6 的控制程序相同，就可作为实用的控制手段之一。

因此，我觉得把这作为控制程序练习是很有效的。无论如何，作为常见的控制例子，我们再一次采用了照片 1 所示的交通信号控制器。



照片 1　信号控制器

Ⅱ　交通信号控制器的点亮模式

现在，以图 1 所示的 1 号线作为优先道路，来设计与 2 号线交叉处信号灯的控制器模式。所用的程序可以分别对白天、晚上的两种模式进行切换。

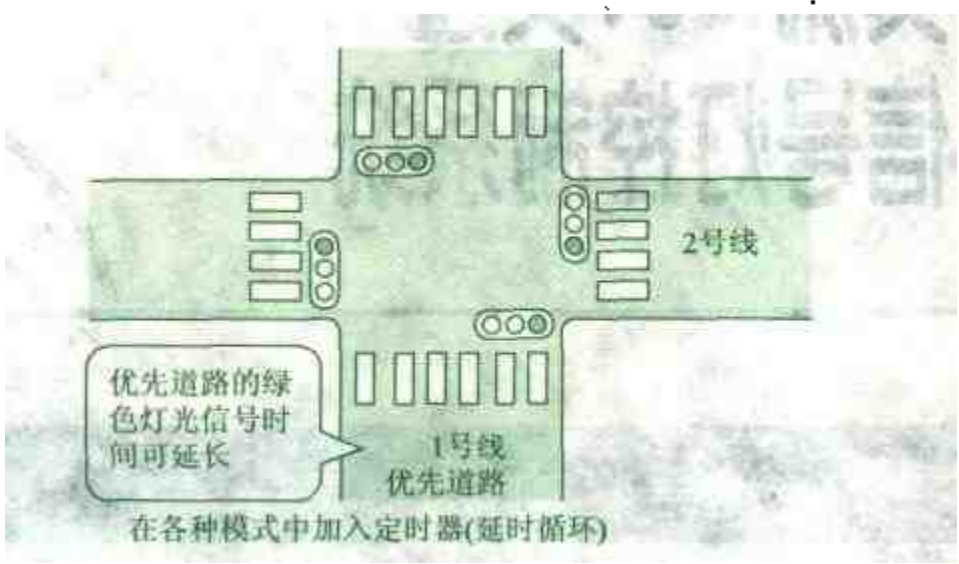


图 1　交通信号控制器的模式

Ⅲ　白天的信号控制器模式

在白天，如图 2 所示，是我们所熟悉的灯由绿变黄，然后变为红的信号控制模式；2 号线的信号则从红变为绿。各种信号灯的点亮时间根据程序中的循环来控制。

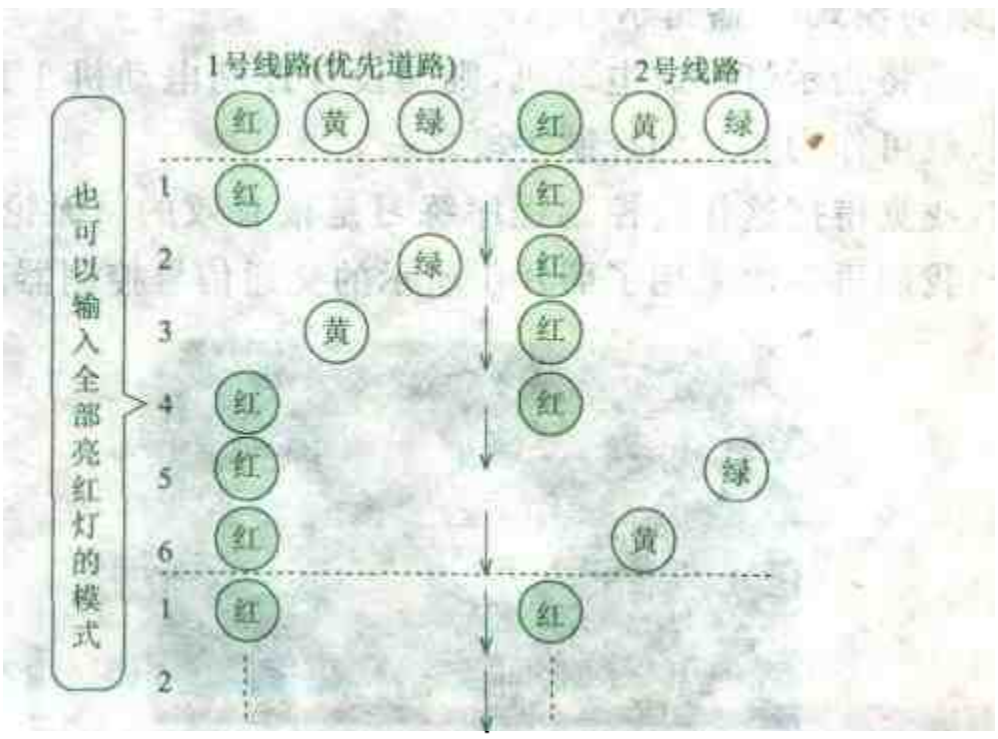


图 2　白天的信号控制器模式

因此，若仔细观察实际的信号控制器，就会注意到由绿色变红色时道路上的 1 号线与 2 号线的两个方向的信号控制器都是红的，将交通中断，以便将从绿色信号的道路上退出的交通流平稳通过。起到防止撞到驶出的车辆而造成事故的作用。

在信号控制器中，我想也应当采用双向同时亮红灯的信号模式。并且，在优先道路上，因交通流量大，应当考虑延长绿灯的亮灯时间。

实际上，我们所用的交叉点处是将电缆埋设在道路中来取得车辆通过数据的。起到与信号变换时间控制器同样的作用。

在使用这种传感器的信号上花些功夫也是很有趣的事情。我们都有这样的经历，当你急于过马路时，多次被红灯阻挡住，而那时，另一条亮着绿色信号灯的线路，却既没有车也没有行人。因此，对有的道路来说，每次有车接近时，才将信号由红灯变为绿灯……，此时，不论多么不自信的人也是不会造成错觉的。

说到系统式的信号，考虑到信号之间的间隔与延时时间，也就是调整变为绿信号所要的时间。

如果用这样的系统对任何交叉路口的模式进行组合，则编制程序是很愉快的。

Ⅳ　夜间信号控制器模式

图 3 表示夜间信号控制器模式。

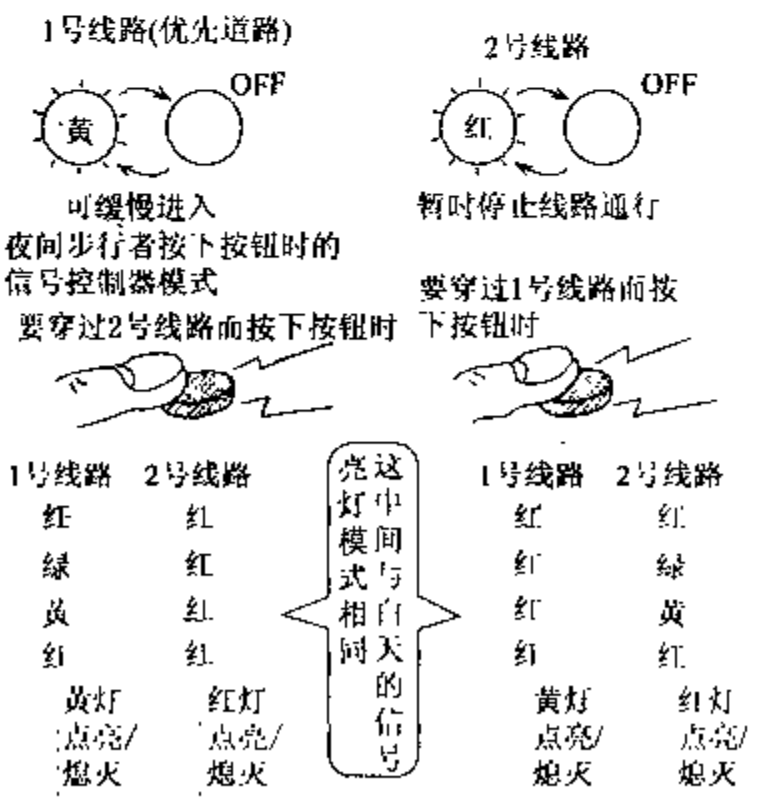
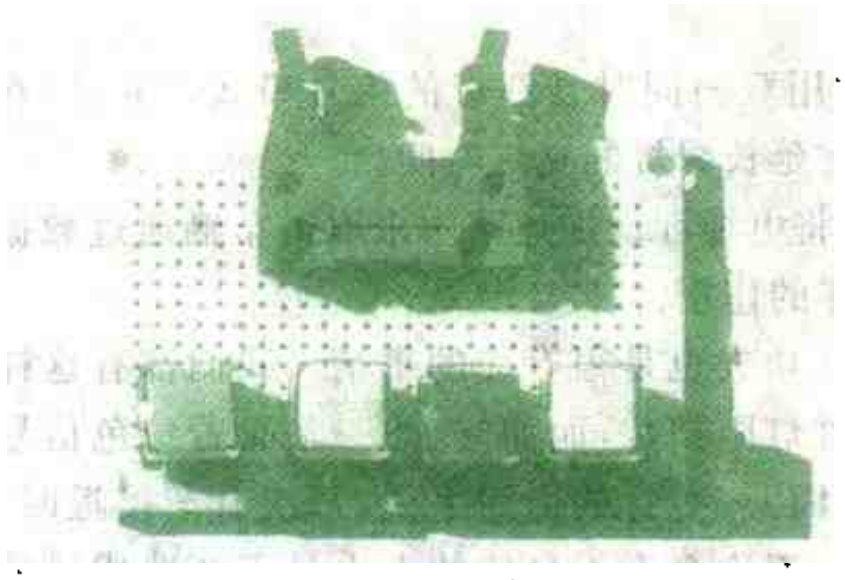


图 3　夜间信号控制器模式

夜间,优先道路即 1 号线路进行黄色信号灯的点亮/熄灭控制;2 号线路进行红色信号灯的点亮/熄灭控制。优先道路的 1 号线路的车,在缓慢通过交会点的同时,2 号线路进入暂时停止交通的状态。



照片 2　按钮的输入电路

然而,当夜间有人通过交叉路口时,若是漫不经心,其安全就有问题了。为了保证人们在夜间能安全地通过马路,应当分别在道路上安装步行者专用的按钮。

在这种情况下,由于要使两个方向线路的信号灯暂时都变为红色,所以按下按钮这一边的信号,与白天用于汽车的信号模式是相同的,当然这种周期只是一次性的,过后还是要恢复夜间的信号灯模式。

照片 2 表示按钮用的输入电路。

V　完整的系统

如图 4 所示,因作为输出的是优先道路(1 号线路)与 2 号线路的信号,所以各自要对红、黄、绿三个灯进行控制。

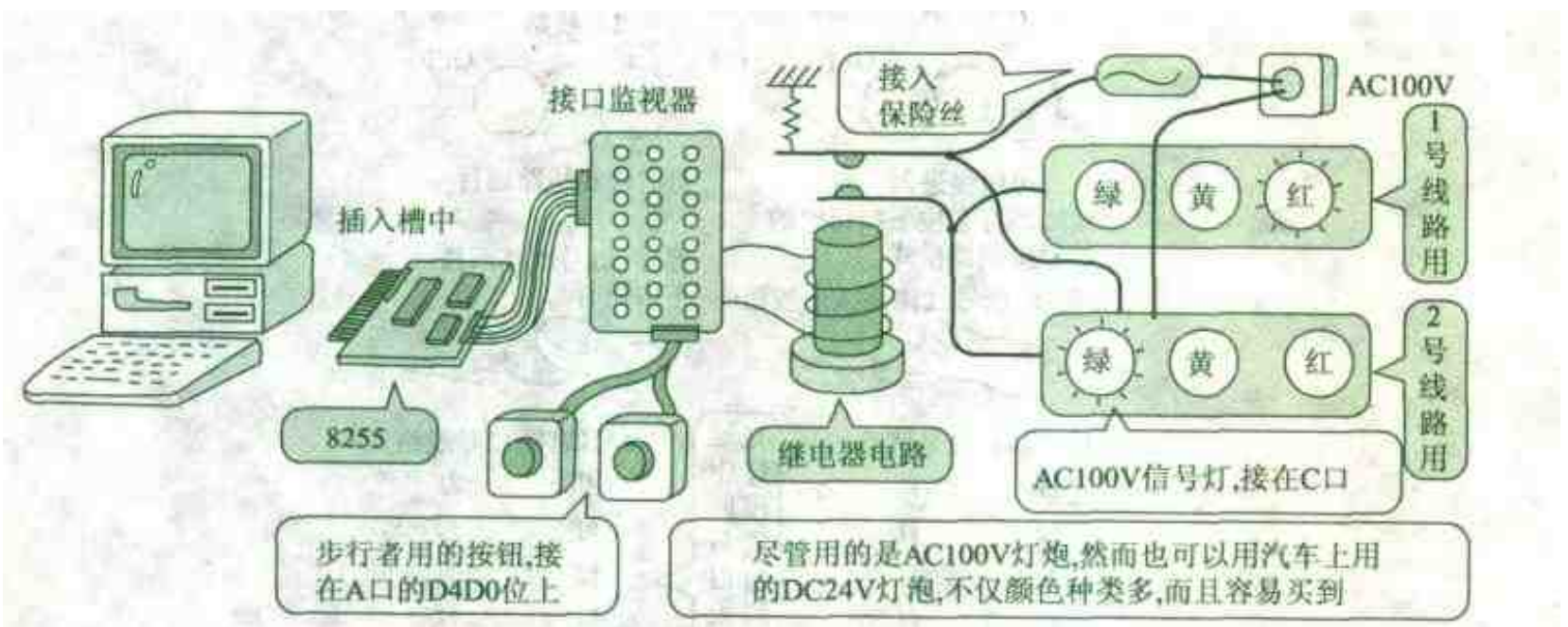


图 4　信号控制器的控制系统

如图 4 所示，将优先道路(1 号线)的信号灯分配在 C 口的高位上。

D_6　红

D_5　黄

D_4　绿

将 2 号线路的信号灯分配在 C 口低位上。

D_2　红

D_1　黄

D_0　绿

因交叉路口对面方向是用相同的信号灯来表示的，所以用同样的电路并联就行了。

对于控制这类信号灯的控制器来说，两个系统的动作互相有关联的话，控制对象的数量在四个以内(这里为绿、黄、红三个)时，可通过分别使用接口的高位与低位，这样正好将两个系统灯光的点亮/熄灭控制模式，用一行程序来表示。也可将优先电路用 B 口，2 号线路用 C 口来控制，也只不过用两行程序，但是相互的关联就不大容易理解了。

然而，无论何时，也应当充分利用接口各自的高位、低位这 8 位资源。如果利用其他接口位来控制执行机构可以简化控制，则不如将控制口分开使用。

如图 5 所示，将按钮连接在 A 口的 D_4 位与 D_0 位，以输入按钮按下的信息。

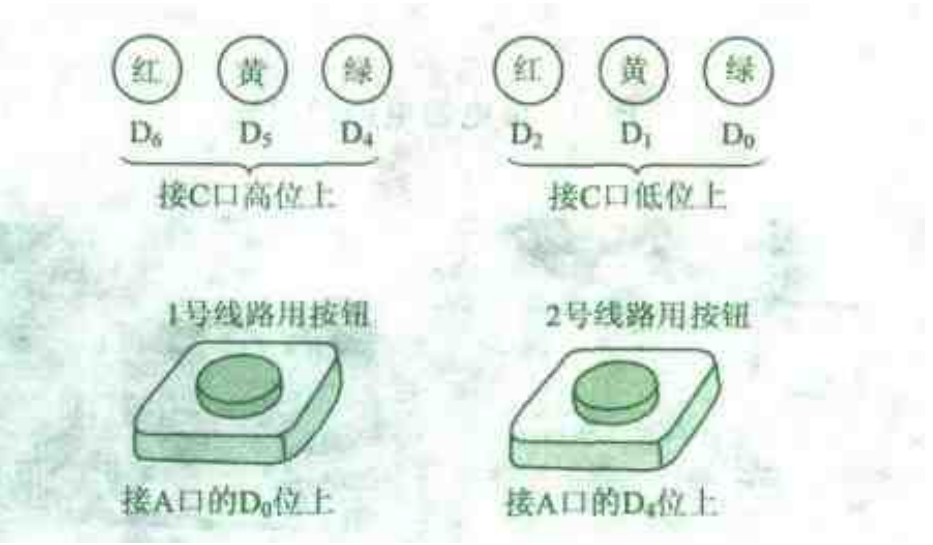


图 5　信号灯与按钮控制位的分配

Ⅵ　电路图

电路图如图 6 所示，基本上是用晶体管将接口电路的信号放大来驱动继电器的电路。

来自接口的信号,用从接口监视器出来的10线扁平电缆连接到DC5V的继电器电路板上。所有的继电器,举例来说,都可用欧姆龙公司制造的微型继电器(G2VN-237P)。因为这一继电器接点的最大允许电流为3A,用于100W的灯泡是足够了。

在自己实际制作时,可根据所用灯泡的"功率"大小来选择继电器的规格。

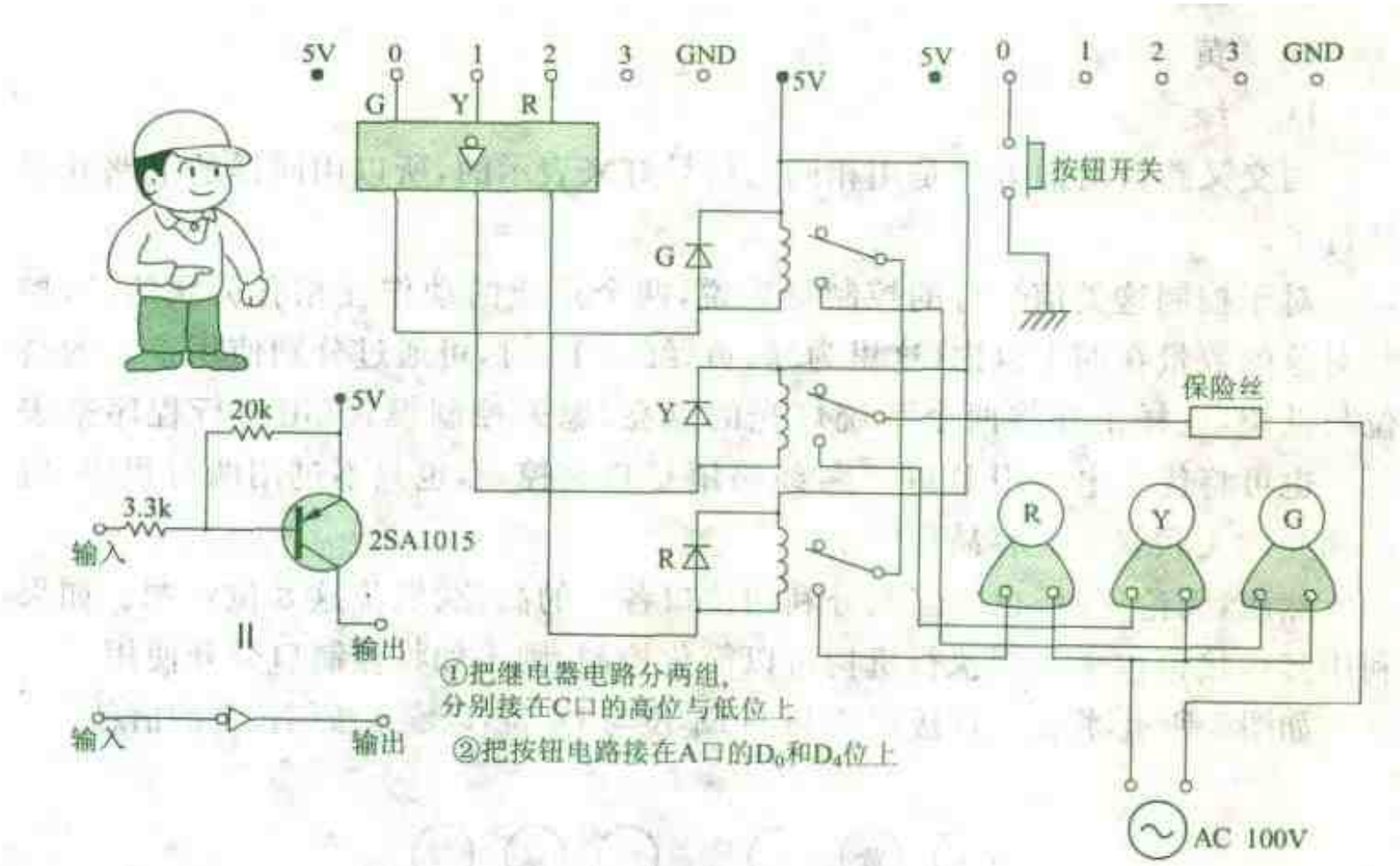
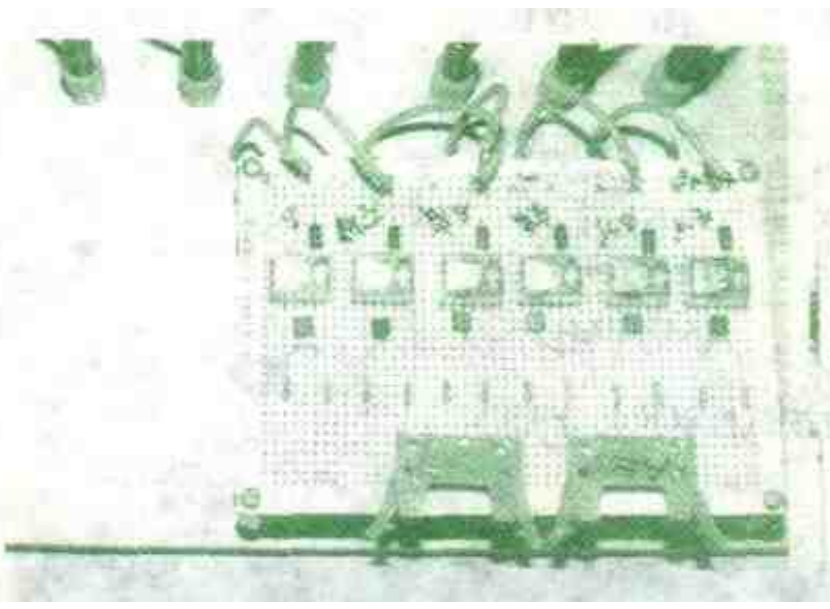
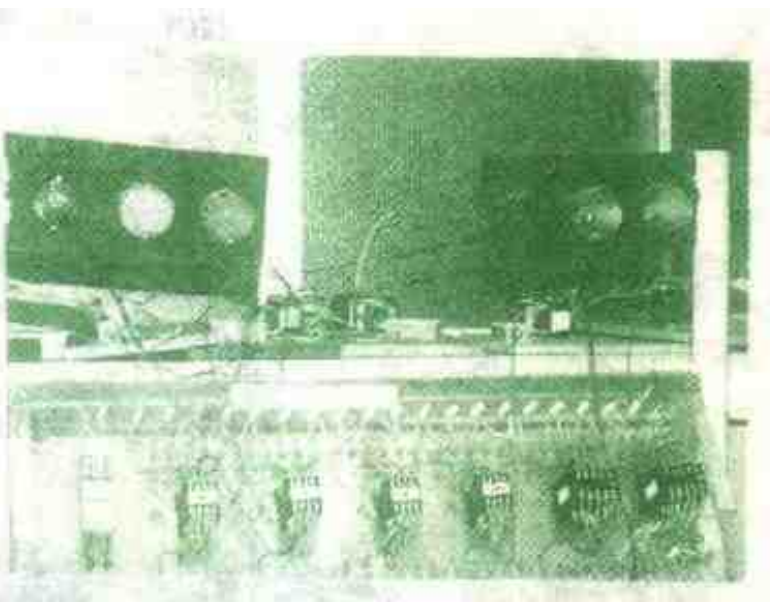


图6 继电器电路的组成



照片3 用晶体管的6个继电器电路的例子



照片4 交通信号控制器的结构

微型继电器的大小如照片3所示,因其尺寸与小方糖差不多,所以像这样的继电器驱动电路,无论多少个都可以直接安装在印刷电路板的底板上。另

外；可用印刷电路板用的拉脱工具来取出灯泡的连接端子。线路的连接应当整洁美观。

虽然继电器驱动端的电流是信号电流，电流很小。但接点上要流过灯泡的额定电流，所以必须选择适当的导线（能承受 3A 左右的电流）。

如照片 4 所示，交通信号控制器的灯泡配线，使用尼龙绝缘导线。在照片 4 中，能看到的是时间继电器与电磁继电器，由于这个交通信号控制器是利用个人计算机控制的，与学过的用继电器等顺序控制器所控制的有区别，所以合在一起制作。

这样在学习个人计算机控制的过程中，与其他控制方法相比较来思考，可以了解各自的特征，是一种很好的学习方法。

Ⅶ　点亮模式与程序

信号灯在接口各位上的分配，如图所示，分别用十六进制数来考虑各个位权值，以取得点亮数据

1 号线路	2 号线路
红 &H4 *	红 &H * 4
黄 &H2 *	黄 &H * 2
绿 &H1 *	绿 &H * 1
（高位的位）	（低位的位）

若 1 号线路为绿信号灯，2 号线路上为红信号灯，则由以上模式可知，输出模式为 &H14。

同样地，当 1 号线路为红信号灯，2 号线路为黄信号灯时，由以上模式可知，输出模式为 &H42。因此，图 7 的点亮模式如下所述。而且，只要在这些模式中加入定时器（延时循环程序），就可以反复执行。

点亮模式	1号线路	2号线路
&H44	红	红
&H14	绿	红
&H24	黄	红
&H44	红	红
&H41	红	绿
&H42	红	黄
&H44	红	红

图 7　点亮模式与程序的关系

另外,夜间模式因 1 号线为黄色信号灯,然后 2 号线为红色信号灯的点亮/熄灭模式,所以其模式如下:

&H24　点亮

&H0　熄灭

通过短时间的循环程序,可使上述点亮/熄灭模式反复地执行。如果循环的时间太短,就像见到连续不断的灯光一样,则可以加长间隔的时间,用间隔约为 1 秒的时间来循环比较合适。

(1) 延时循环

在控制中,常常遇到"经过一定时间后移到下一个控制"的情况。因此,为了延长时间,要在计算机上执行保持状态的(计数)延时程序。常用的是 FOR-NEXT 语句循环程序。

例如语句:

```
FOR I=0  TO 500: NEXT
```

这个语句中,若将 0 到 500 改为 0 到 1 000,就可把计算机的运算次数增加一倍,也就是可用执行空运行来处理时间,所以称之为延时控制器。

可是,对十六位的计算机来说,因运算处理的时间太快,只用这个方法是不能满意地调整延时时间的。此时,可在 FOR 语句与 NEXT 之间再加入 PRINT 语句,在显示器(CRT)上显示

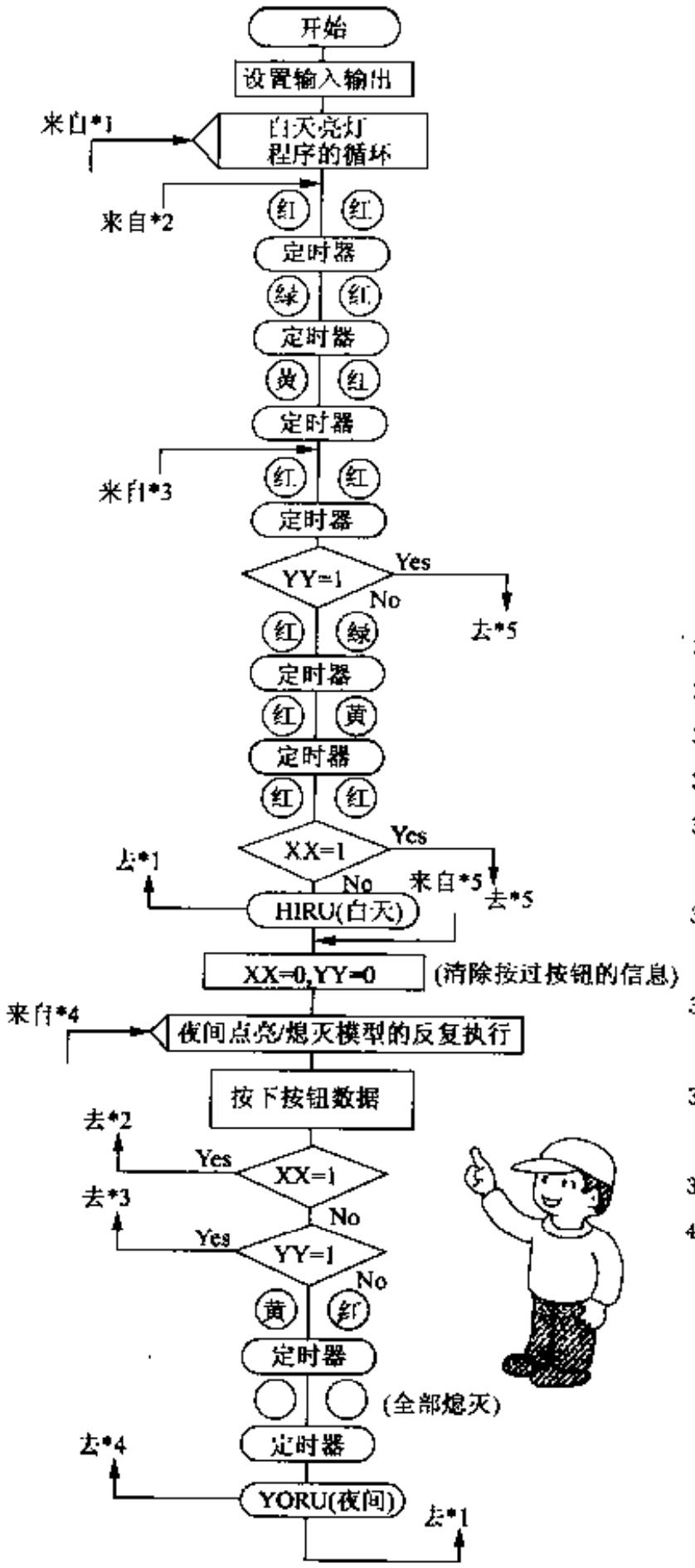
```
FOR I=0  TO 1 000
PRINT I: NEXT
```

因为把含有 PRINT 语句的延时时间循环加在了该处理时间上,所以能有效地延长处理时间。以上的延时循环,可得到 15 秒的延时程序。请读者制作一个与所用计算机一致的循环程序。

Ⅷ　信号控制器的控制程序

关于定时器

如 XX 行 FOR I =0 TO 1 600:PRINT"I=";I:NEXT 的例子所示,根据 PRINT 语句,就可按照在 CRT(屏幕)上的输出来调整定时器的数据。




```
10  REM
20  OUT &HD6,&H90(C 口为输出,A 口为输入。)
30  OUT &HD4,&H0 (点亮数据清零)
100  REM 白天模式
110  FOR HIRU = 0 TO 3
110  OUT &HD4,&H44(红、红)(定时器)
120  OUT &HD4,&H14(绿、红)(定时器)
130  OUT &HD4,&H24(黄、红)(定时器)
140  OUT &HD4,&H44(红、红)(定时器)
150  IF YY=1 THEN 300
160  OUT &HD4,&H41(红、绿)(定时器)
170  OUT &HD4,&H42(红、黄)(定时器)
180  OUT &HD4,&H44(红、红)(定时器)
190  IF XX=1 THEN 300
200  NEXT HIRU
300  XX=0: YY=0(清除按钮信息)
310  FOR YORU=0 TO 20
320  A=INP(&HD0)(是否按下按钮)
330  IF A=254 THEN YY=1:GOTO 110(是 1 号线路
     吗?)
340  IF A=247 THEN XX=1: GOTO 140(是 2 号线
     路吗?)
350  OUT &HD4,&H24(黄、红)
     (定时器)
360  OUT &HD4,&H0(全部灯熄
     灭)(定时器)
370  NEXT YORU (YORU:夜间)
400  GOTO 100
```

点亮/熄灭数据

[General Information]
书名=book_11119012
作者=
页数=225
SS号=11119012
出版日期=

封面
书名
版权
前言
目录
目　　录

第 1 章控制的基础知识
1　　电子电路与控制的关系
2 使用传感器的简单电子电路
3 执行机构的驱动电路
4 顺序控制的定义
5 反馈控制
6 模拟控制与数字控制
7 数字控制与逻辑电路
8 微机与微机控制
9 微机与信号流
1 0 接口的作用
1 1　输入用外部接口的作用
1 2 输出用外部接口的典型作用
第 2 章　　简单控制入门
1 模型电车的开动
2 模型电车在站台处的停靠
3 铁路模型的控制　　简单控制
4 铁路模型的控制　　使用定时器等
5 微机控制（1）　　用发光二极管确认输出
6　　微机控制（2）—用按钮开关来输入
7 微机控制（3）　　使用继电器
8 微机控制（4）——简单控制
9 微机控制（5）　　使用步进电动机的控制装置
1 0 微机控制（6）　　—步进电机的往复控制装置
1 1　　微机控制（7）　　铁路模型的控制Ⅰ
1 2 微机控制（8）——铁路模型的控制Ⅱ
第 3 章使用个人计算机的简单控制入门（基础篇）
1　　制作接口
2　ＬＥＤ接口监视器
3　　ＬＥＤ的点亮、熄灭控制Ⅰ
4　ＬＥＤ的点亮、熄灭控制Ⅱ
第 4 章使用个人计算机的简单控制入门（应用篇）
1　　键盘控制的音乐自动演奏系统
2 用模／数（Ａ／Ｄ）转换的室温控制系统
3 汽缸控制的气动机器人系统
4 用继电器控制的交流１００Ｖ交通信号灯控制系统

OHM 电子爱好者读物

电子电路与电子技术入门

〔日〕新电气编辑部 编



科学出版社
www.sciencep.com

(TN-0463.0101)
责任编辑　崔炳哲
责任制作　魏　谨
责任印制　刘士平
封面设计　李　力

◇◇◇◇◇◇◇ 内　容　简　介 ◇◇◇◇◇◇◇

“OHM电子爱好者读物”系列共有6本，涉及电子电路、电子机械、电子控制、数字电路、机电一体化、电子技术等。本系列以初学者为对象，以实用技术为重点，利用丰富的插图，甚至建立模拟教室以对话的形式、通俗易懂地介绍相关内容。阅读本系列的读者最好边学习边实践，以使所学知识变成自己有用的技能。

本书是“OHM电子爱好者读物”之一，共分两章。第1章主要介绍基本电路元器件的电阻器、电容器等特性，并阐述作为电子电路基础的电源电路、放大电路等；第2章则特别挑选出实际的晶体管电路，从它的基本电路到实际应用进行较系统的介绍，并给出了13种实用电路的电子技术工作“套餐”。

本书适合作为职业技术类教材，亦可作为企业技术人员的初级培训用教材。

OHM电子爱好者读物

电子电路入门

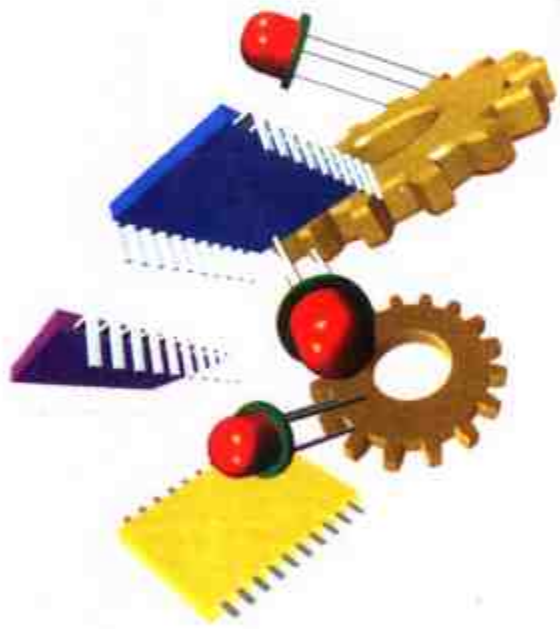
数字电路入门

电子机械入门

电子电路与电子技术入门

电子控制入门

机电一体化入门



ISBN 7-03-011180-X
9 787030 111807 >

ISBN 7-03-011180-x
定　价: 20.00 元

OHM电子爱好者读物

电子电路与电子技术入门

〔日〕新电气编辑部　编
葛　璜　译

科学出版社
北京

图字：01-2003-0410 号

Original Japanese language edition
Hajimete Manabu Denshi Kairo to Electronics Kousaku Nyumon
Edited by Shindenki Henshubu
Copyright © 2002 by Ohmsha, Ltd.
Published by Ohmsha, Ltd.
This Chinese version published by Science Press, Beijing
Copyright © 2003
All rights reserved

初めて学ぶ
電子回路とエレクトロニクス工作入門
オーム社　2002　第1版第1刷

图书在版编目(CIP)数据

电子电路与电子技术入门/(日)新电气编辑部编；葛瑞译. 北京：科学出版社，2003
(OHM 电子爱好者读物)

ISBN 7-03-011180-X

Ⅰ.电… Ⅱ.①新…②葛… Ⅲ.①电子电路-基本知识②电力电子学-基本知识
Ⅳ.①TN710②TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 011121 号

责任编辑　崔炳哲　　**责任制作**　魏　谨
责任印制　刘士平　　**封面设计**　李　力

科学出版社 出版
北京东黄城根北街 16 号　邮政编码：100717
http://www.sciencep.com
源海印刷有限责任公司 印刷
北京东方科龙图文有限公司 制作
http://www.okbook.com.cn
科学出版社发行　各地新华书店经销

2003 年 5 月第 一 版　开本：B5(720×1000)
2003 年 5 月第 一次印刷　印张：12 1/4
印数：1—5 000　　字数：212 000

定　价：20.00 元
(如有印装质量问题，我社负责调换(新欣))

前言

电子技术已经渗入到所有的产业，并得到了充分的利用。因此，可以毫不夸张地说：从事任何产业的人都必须掌握电子技术的基本知识。

我们在编写本书的时候，特别注意了以下三点：

1. 由于人们都有电气、电子的理论高深莫测的印象，所以写作时特别注意使文字叙述通俗易懂。

2. 收集了大量图表和插图，注意图文并茂，使读者阅读本书时没有枯燥的感觉，进而，对图表也给以说明，使读者看到图就能理解内容。

3. 对于所有的项目，不仅仅叙述理论，而且介绍实际制作，从实验中巩固理论，同时也介绍了在实践过程中会遇到的各种问题。

因此，各位读者在阅读本书后，自己动手组装电路、进行实践，能够牢固掌握这些知识，使其变成自己的本领。

本书的读者对象是在工业高职高专学校或者企业等领域，想学习电子电路基础知识的各方人士。

在本书第1章中介绍基本电路元件的电阻器、电容器等的特性，阐述作为电子电路基础的电源电路、放大电路等。

在第2章中，特别挑选出实际的晶体管电路，从它的基本电路到实际应用电路进行较系统的介绍，给出了13种实用电路的电子技术工作“套餐”，希望能被各位读者所利用。

期望读者通过本书的学习，能够掌握电子电路的基础知识和晶体管工作的基础知识，能够对各自的工作有所裨益。

主编　全国工业学校校长协会顾问　岩本　洋

本书的执笔分工如下：

第1章　国立明石工业高等专科学校　堀　桂太郎

原东京都立藏前工业高等学校　森田克己

第2章　广岛 ELECOM 株式会社/电子技术成套元器件研究会

目　录



第1章　电子电路的基础知识

1 熟悉电路图——简单电路图的读法和画法 …… 2
2 电阻器的选择方法——色标的读法 …… 8
3 电容器的特点 …… 14
4 万用表的使用方法　　与其学习原理不如习惯其用法 …… 20
5 了解发光二极管(LED)——熟练使用 LED …… 28
6 活用 LED——求出限流电阻 …… 35
7 示波器的使用方法　——用波形观察看不见的"电" …… 42
8 二极管和晶体管的工作原理 …… 48
9 晶体管的特性 …… 55
10 电源整流电路的结构 …… 61
11 晶体管放大电路 …… 68
12 晶体管应用电路-　—学习使用传感器 …… 74

第2章　电力电子技术入门



1 实验装置用±4～18V 稳压电源的制作 …… 82
2 可变型 3 端调节器(使用 LM317、LM337)实验用电源的制作方法 … 86
3 镍镉电池用 500mA 恒流式充电器的制作 …… 90
4 晶闸管式 10A 恒流型充电器的制作方法 …… 101
5 5V/2A 开关式稳压电源(使用 μA723)的制作方法 …… 108
6 4～13V/2A 开关式稳压电源(使用 SG3524)的制作方法 …… 114
7 5V/5A 开关电源的制作方法 …… 119
8 电源转换器 DC12V→AC100V50Hz/60Hz 正弦波输出 40W 转换器的制作方法 …… 129
9 电源转换器 DC12V→AC100V50Hz/60Hz 正弦波输出 100W 转换器的制作方法 …… 143
10 温度传感电路的制作方法和调整方法 …… 154
11 测量水溶液电导率(溶液的电阻值)的传感电路的制作及调整方法 …… 159
12 功率因数或无功功率(无功电流)传感器的制作 …… 165
13 播放顺序发生器的制作方法 …… 172

东方图书馆藏 www.dzcny.com

第 1 章

电子电路的基础知识



本章的学习内容

最近，应用电子技术的装置以惊人的速度发展着，看看我们的周围就能发现，微型计算机、电视机、CD机、录像机、钟表等各式各样的电子制品随处可见。

另外，在车床、镗床等机械领域里，常常见到将“机械”一词与利用电子技术控制各部分功能的“电子控制”一词结合而组成的“机电一体化”这一新名词。

这种机电一体化的电子技术应用非常广泛，可以预见，今后它也将迅速发展构成这种电子技术核心的，是二极管、晶体管等半导体器件和由这些元器件构成的电子电路。

作者认为，自己动手制作大量简单的电子电路是学习电子电路的最好方法。因此，在这一章中，我们以能够制作电子电路为目标，介绍在电子电路中经常使用的电阻等部件的结构、电学性质、用途等知识；进一步，再介绍万用表、示波器的使用方法，以及二极管、晶体管等半导体器件在电子电路中的作用等。

森田克己　堀 桂太郎

1 熟悉电路图

——简单电路图的读法和画法



熟悉电路图

“我多想有一辆摩托车，在公路上尽情的飞奔。心爱的摩托车终于到手了，我一定把它擦的锃亮锃亮……”.这种得到心爱之物的兴奋与满足是短暂的，一过了那个时期，为了提高它的性能，就要更换部件，改造它，感兴趣的部位就变了。我们周围也有很多人开始不满足于市场上销售的电器设备，思考着能不能发出更美妙的声音，能不能用计算机控制等。

给这些人指明道路的不是地图，而是标明电流路径的电气-电子的电路图。地图利用各种符号、各种颜色的线，清楚地向我们传达各种各样的信息，电路图也一样。下面，先介绍在电子设备的电路图中经常使用的表示部件的图形符号、连接各部件的线路符号等。

电路图和图形符号

图 1 是用导线将电池、灯泡、开关连接起来的实物布线图，即“一旦接通电路，灯泡就亮”的最基本的电路。如图 1 所示，用实物图表示的电路图称为实物布线图。

实物布线图，若是简单的电路，则容易理解；但是对于较复杂的电路，则不仅难于理解，而且画电路图也很费时间。为此，将各种各样的部件符号化，用电气图形符号表示电路的结构则简明易懂。图 2 是用图形符号表示的图 1 所示的点灯电路。

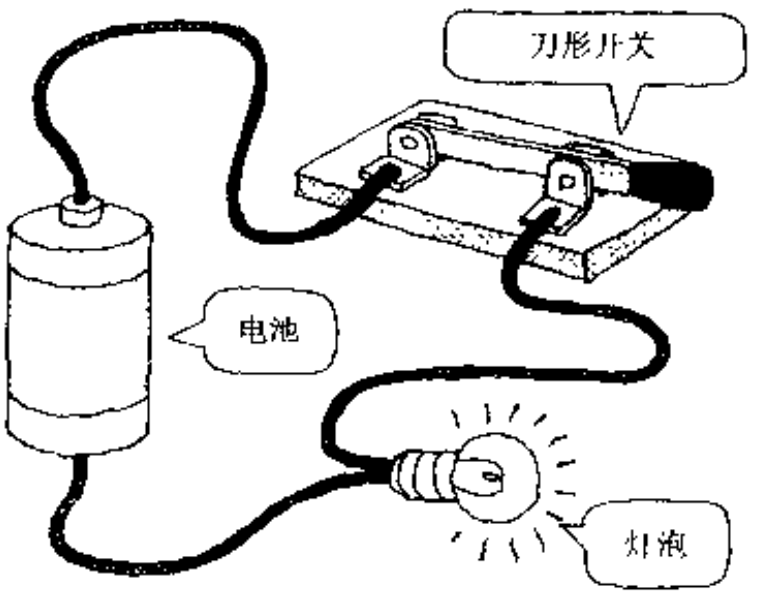


图 1　实物布线图

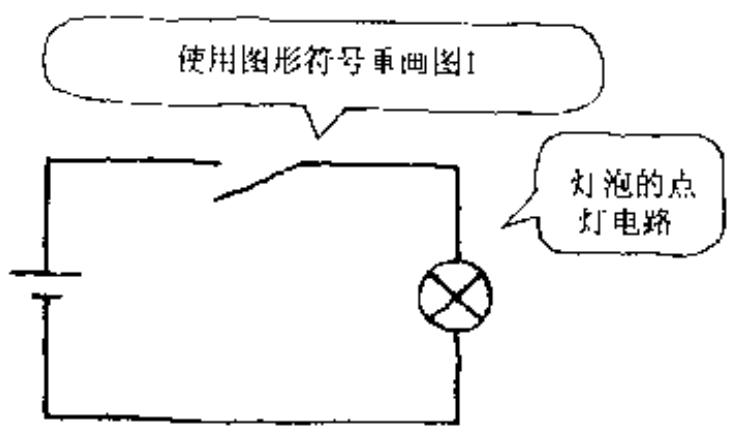


图 2　用图形符号表示的电路图

〈要点〉

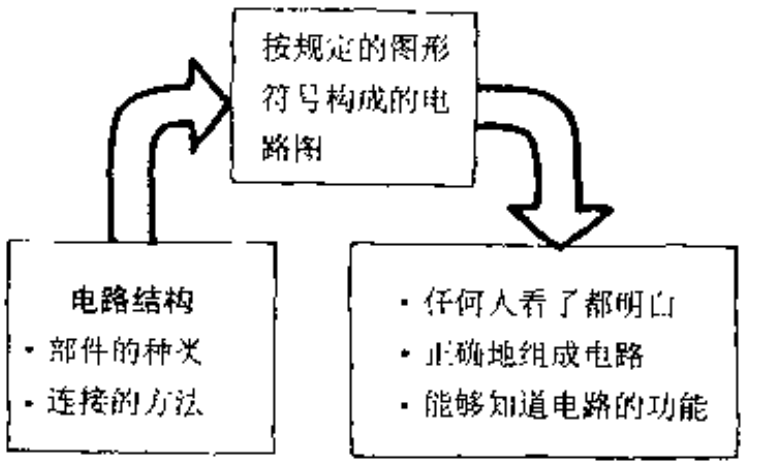


表 1 所列为经常使用的电路符号(如果与图形符号一并记忆,则更容易理解)和图形符号,图形符号也简称为符号。

图形符号一般使用易于理解的、易于与其他部件区别而又容易书写的符号。图形符号在同一电路图内使用统一的尺寸。

表 1　主要的电气用图形符号

部件名	符号	新图形符号	旧图形符号
电阻器	*R*		
可变电阻器	*VR*		
电容	*C*		
电解电容器	*C*		
可变电容器	*VC*		
线圈	*L*		
变压器	T		
开关	S		
按钮开关（自动复原）	S		

部件名	符号	新图形符号	旧图形符号
二极管	D		
发光二极管	LED		
晶体管	Tr	NPN　PNP	
电压表	V	V	
电流表	A	A	
保险丝	F		
灯泡	L		
电池	E		
扬声器	SP		

JIS（日本工业标准）的图形符号在 1999 年修订过。本书第 1 章中使用的是新图形符号（JIS C0617）。第 2 章中，有一部分使用的仍是旧图形符号（旧 JIS C0301）。

模型信号机的电路图

现在，我们来研究图 3 所示的模型信号机的电路，该电路基本上是由 3 个图 1 中所示的灯泡开关电路组合而成。将实物布线图（参见图 3）画成如图 4 所示的电路图，由图可知，很难看懂这样的电路图中的布线。

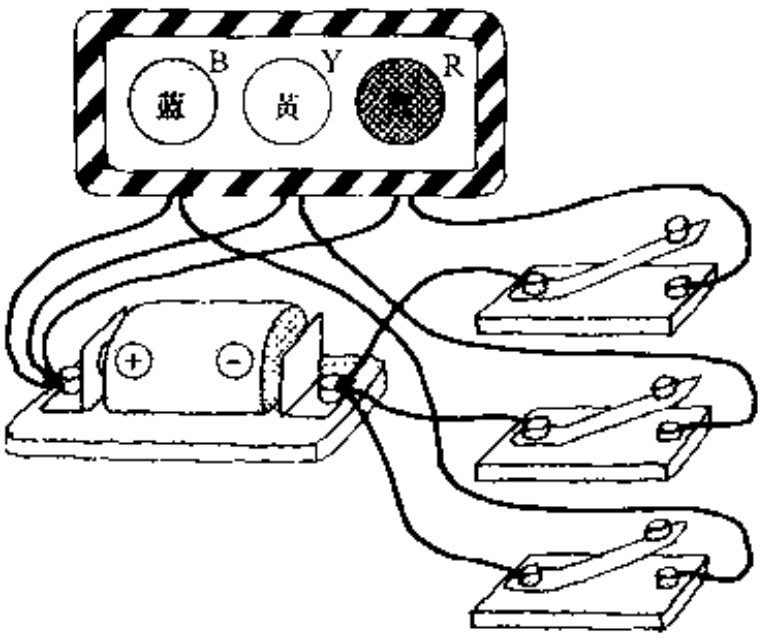


图 3　模型信号机的电路

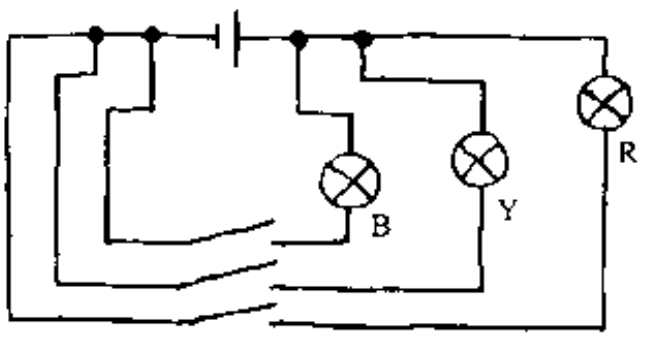


图 4　图 3 的电路图

因此，像图 5 那样对开关进行改进，将布线也整理整齐，电路图就变得清晰明了起来（参见图 6）。将开关部分进一步改进，制成图 7 那样的旋转型，信号机的操作性能就大大改进。图 8 示出了用旋转型开关的电路图。

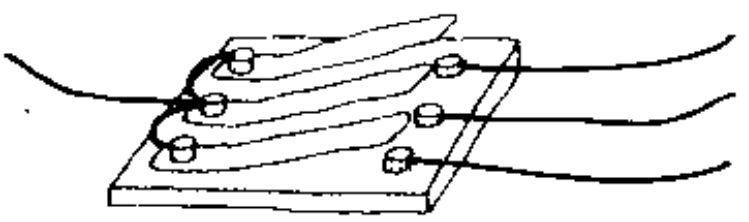


图 5　开关的改进

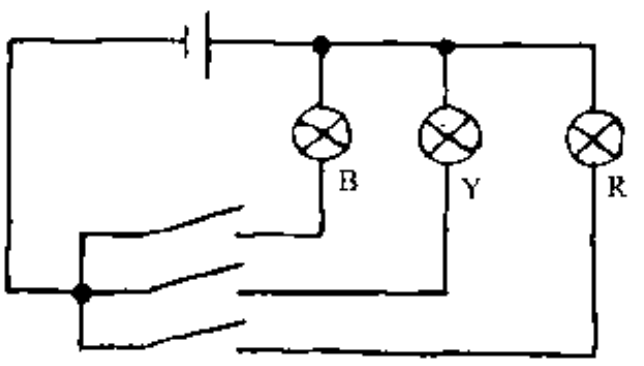


图 6　图 5 的电路图

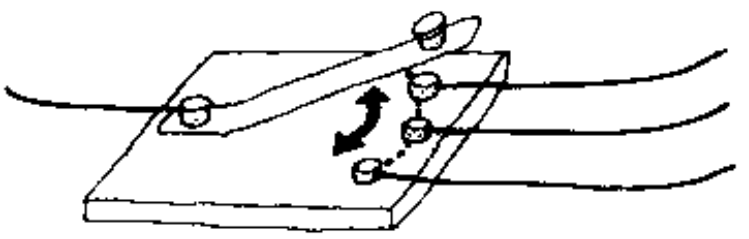


图 7　旋转型开关

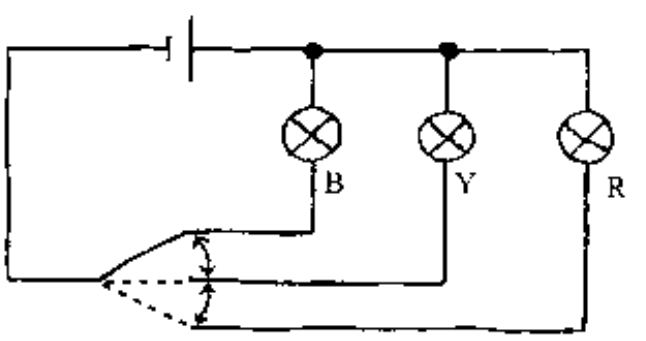


图 8　图 7 的电路图

由上述可见，深入分析电路图对改进电路结构非常有用。下面就绘制电路图的规则进行小结。



图 9　导线的交叉和地线的表示

信号的传输和图形符号的配置

如图 10 所示，图形符号的配置是根据信号的流动、电流的流动等动作的顺序从左到右展开的。一般地，(＋)侧的导线画在电路图的上侧，(－)侧的导线画在电路图的下侧。

图 11　将地线作为线路使用的电路图

导线的交叉部和接地的表示方法

如图 9 所示，电路图中导线交叉时是否连接是用小黑点的有无来区别的。接地的表示方法则如图 9 中右端所示。

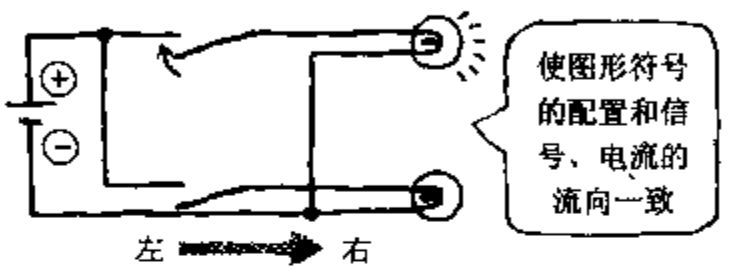


图 10　电路图的表示方法

地线的使用

图 11 示出了图 10 所示电路结构共用地线的情况。为了简化表示电路，经常使用这种方法。

包含集成电路(IC)的电路

图 12 是利用 IC(74LS00)的 LED 点灯电路。在这样使用 IC 的情况下，如图 13 所示，根据该 IC 的引脚配置进行电路连接。如图 14 所示，IC 的 1 号引脚有 IC 接入标记。

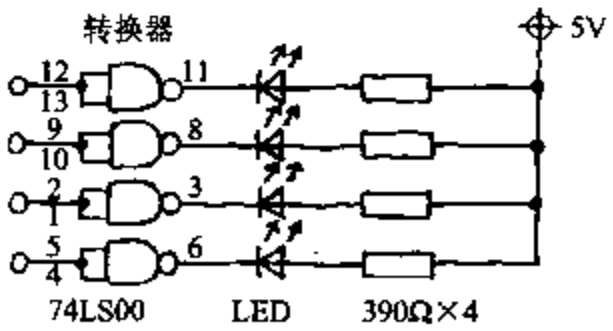


图 12　包含 IC 的电路图

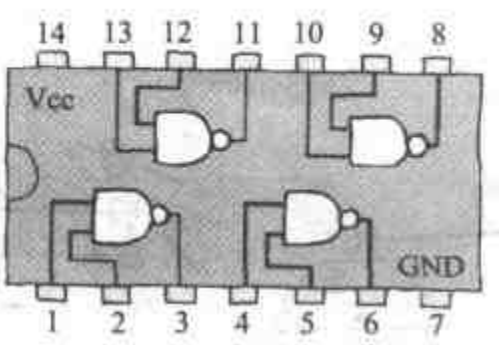


图 13　74LS00 的引脚配置

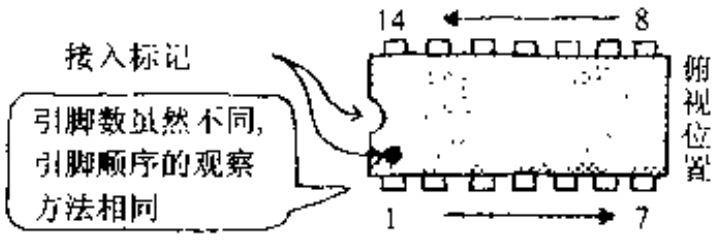


图 14　IC 的 1 号引脚的看法

电路图和实物布线图

图 15 所示是使用继电器控制交流 100V 灯泡的简单的点灯电路。图 16 为图 15 的实物布线图，相互对照即可以清楚地理解图形符号的画法及表示方法。通过控制流经继电器的电流的通(ON)、断(OFF)，就可以控制流过灯泡的电流。

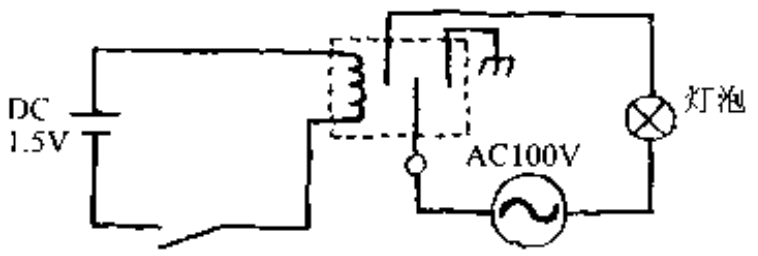


图 15　点灯电路

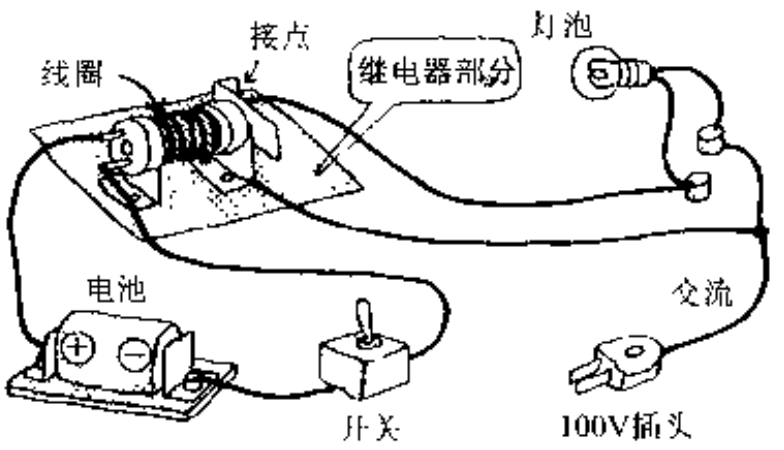


图 16　点灯电路的实物布线图

虽然实际使用的电路图中部件很多，电路也很复杂，但是，只要牢牢掌握图形符号，即使再复杂的电路也能读懂，最最重要的是孜孜不倦地学习。

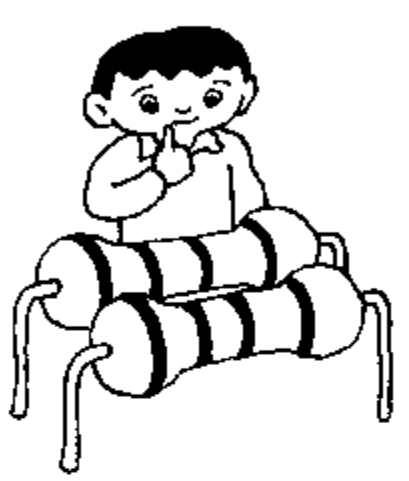
练习题

1. 图 15 中继电器起什么作用？
2. 何谓 IC？

解答

1. 用流经继电器的小电流控制点灯电路的大电流。
2. 由于是把用集成化的晶体管等构成的电子电路收纳在小型的管壳中，所以称为集成电路(IC 是 Integrated Circuit 的简称)。

2 电阻器的选择方法
——色标的读法



电子电路和零部件

打开电视机、组合音响等的后盖看一看它的内部，就能够看到各种各样的电子电路元器件满满的安装在基板上组装在一起的样子。也许是为了最合理的利用有效空间吧，如图 1 所示，就像在航空摄影中看到的住宅用地上密集的住宅群一样，电阻、晶体管、电容等零部件密密麻麻地排列在基板上。仔细观察一下这些电子电路的零部件，就会发现，其中包括：

- 电阻（150kΩ、2 kΩ、100Ω）
- 电容（10μF）

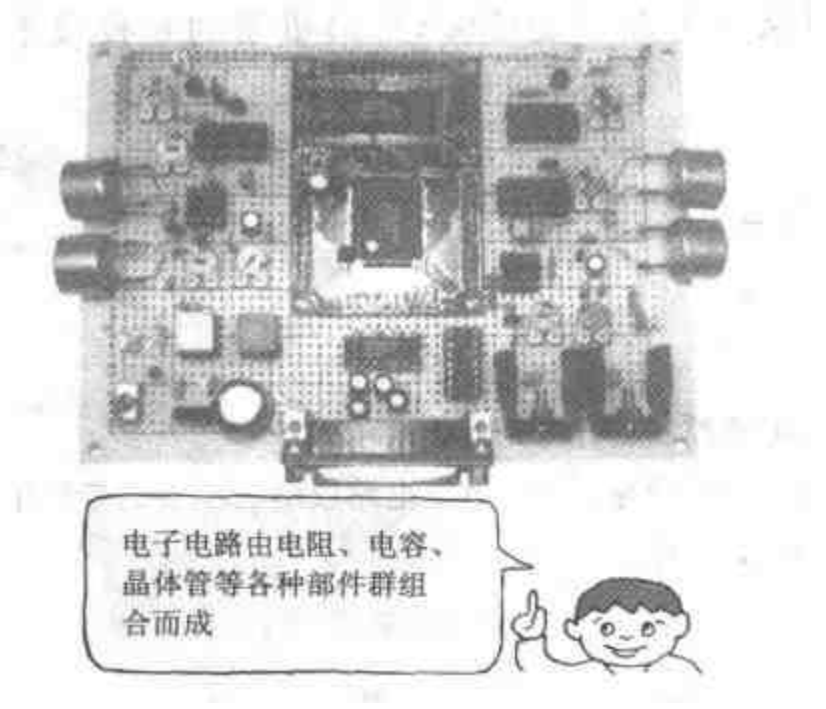


图 1　电子电路的部件群

- 电解电容（2.2μF、47μF）
- 二极管、晶体管、线圈等。

这里，对在基本电子电路中大量使用的电阻的特性、种类、选择方法及使用上的注意事项等做一个说明。

电阻器的作用

电阻器，正如它的名字所表示的那样，是阻碍电流在电路中流动的元件。利用电阻器的这种性质，能够调整使晶体管、IC（集成电路：利用单一的半导体晶体，将许多晶体管等元器件集成化而成的电子电路）、发光二极管等工作所必须的电压和电流的大小。

电阻器在电路中虽然不是像 IC、晶体管那样引人注目，但是对于驱动 IC、晶体管等却是不可缺少的元件。电子电路中无不存在电阻器，电阻器的使用范围甚广。一般情况下，电阻器也称作电阻。

电阻器的种类和性质

将电阻分类时，可把电阻分为电阻值固定的固定电阻和能改变电阻值的可变电阻器。表 1 示出了主要用于电子电路中的各种电阻。也可以如表 2 所示那样，按照 JIS 根据电阻的材料或者使用目的对电阻分类。使用的时候，请按标准规格表仔细了解它的性能、特征后再使用。

表 1　在电子电路中使用的各种电阻器

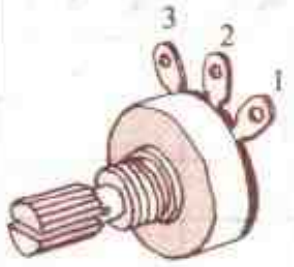
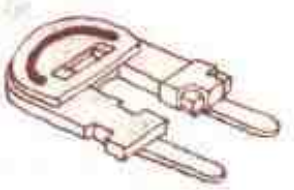
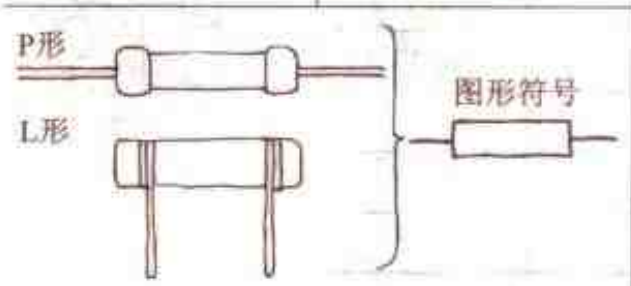
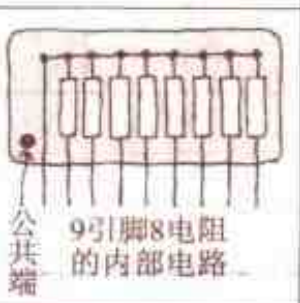
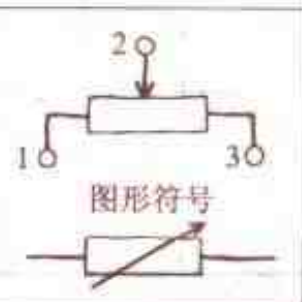
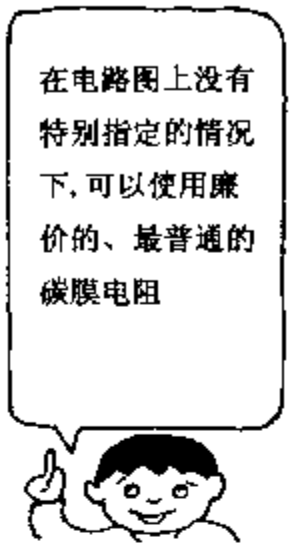
碳膜电阻	金属膜电阻	集成电阻	可变电阻器	半固定电阻器
				
在陶瓷圆筒上附着碳膜，在碳膜上设有调整电阻值用槽。廉价产品	在陶瓷圆筒上蒸镀 Ni-Cr 等金属膜，在金属膜上有调整电阻值的槽	将多个电阻收纳在一个管壳中，使用在 IC 电路等中	使旋转轴在电阻体上旋转，能够改变电阻值	用改锥等调整到规定的电阻值，然后将电阻值固定使用
				

表 2　电阻器的种类(按照 JIS)

符　号	电阻材料
RD	碳膜
RN	金属膜
RS	金属氧化膜
RC	碳系混合体
RK	金属系混合体
RW	电阻线(功率型)
RB	电阻线(精密型)



小型电阻器的色标

固定电阻器中，由于在电子电路中使用的小型电阻器上没有地方用数字表示电阻值和电阻值容许误差的空间，在电阻器外侧的绝缘体上涂有称为色标的色带，用色标来表示电阻值等参数。

为了读取用色标表示的电阻值，必须牢牢记住表 3 所示的色标和数字间的规则。当你习惯后，对于经常使用的电阻值的色标，只要看一眼就能立刻知道它的电阻值。

自色标由 JIS 确定后，任何公司所用色标都相同。

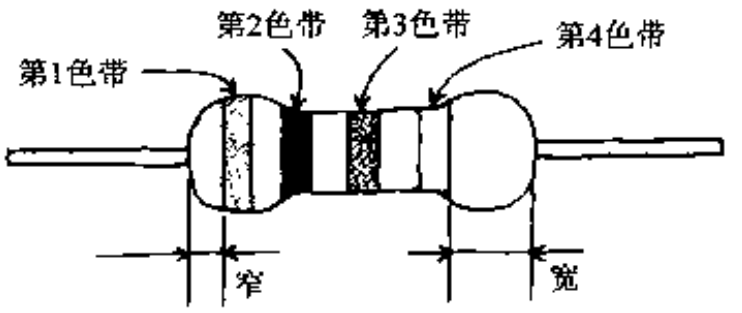
表 3　色标表

颜　色	第 1 色带 第 1 数字	第 2 色带 第 2 数字	第 3 色带 第 3 数字	第 4 色带 第 4 数字	第 5 色带 第 5 数字
黑	0	0	0	10^0	
棕	1	1	1	10^1	±1%
红	2	2	2	10^2	±2%
橙	3	3	3	10^3	
黄	4	4	4	10^4	
绿	5	5	5	10^5	±0.5%
蓝	6	6	6	10^6	±0.25%
紫	7	7	7	10^7	±0.1%
灰	8	8	8		±0.05%
白	9	9	9		
金				10^{-1}	±5%
银				10^{-2}	±10%



电阻值的读取方法是：首先，如图 2 所示那样识别色标的第 1 色带，然后，如图 3、图 4 所示的 4 色表示、5 色表示的例子那样，读取电阻值。

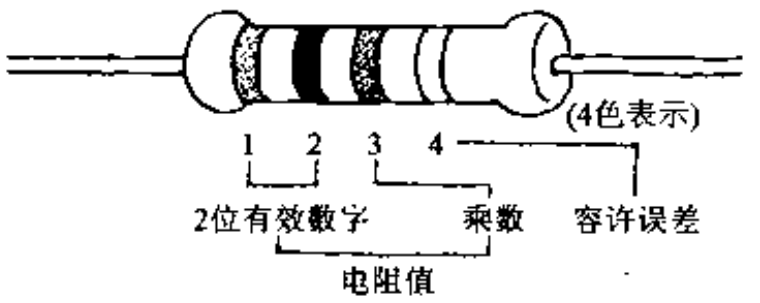
① 找到第 1 色带



从电阻引线与色带的间隔窄的一方开始向右读。

图 2　第 1 色带的识别方法

② 4 色表示的读法



4 色表示中，用最初的 3 条色带表示电阻值，最后的 1 条色带表示容许误差。

〔例〕　560Ω±5%

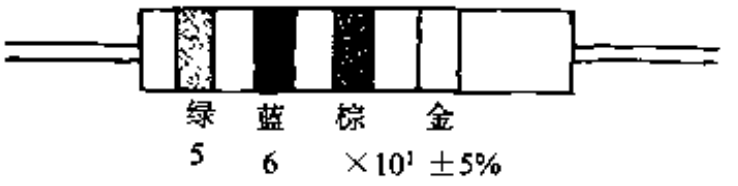
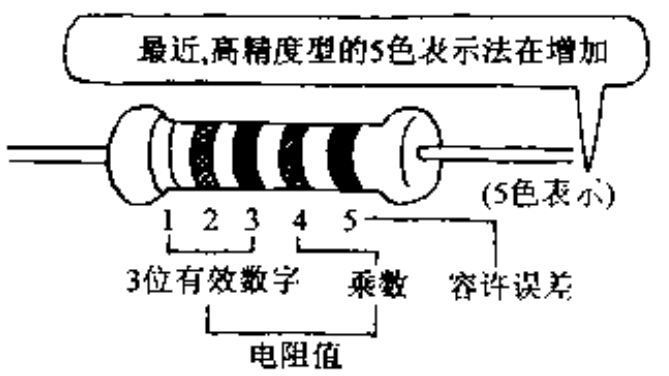


图 3　4 色表示的色标

③ 5 色表示的读法



5 色表示中，用前 4 条色带表示电阻值，最后的 1 条色带表示容许误差。

〔例〕　47 000±2%＝47kΩ±2%

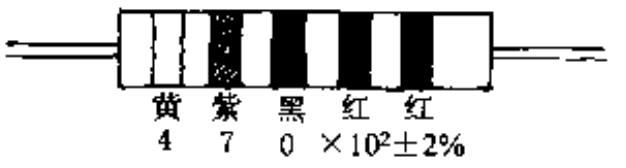


图 4　5 色表示的色标

为什么电阻值不是“整齐”的数

这是最初为购买电阻器到元器件商店时发生的事情。看到在电路图中有27kΩ,330Ω,68Ω,39Ω,…等零星数值的电阻器,一边想着这是设计者耗费多少心血才计算出的结果啊！一边购买了必要的数量的电阻器。

接着我就想到如果预先购买些 500Ω 的电阻该多方便啊！例如,当串联时,2 个 500Ω 串联是 1kΩ,4 个 500Ω 串联就是 2kΩ…这多方便啊！我想多买几个 500Ω 的电阻,可是大于 470Ω 的电阻就是 510Ω,根本没有我想要的 500Ω 的电阻。我想可能是这个商店卖完了吧,走到相邻的元件商店看看也是一样,470Ω 以上就是 510Ω。

认真调查之后我发现,没有 400Ω,600Ω,800Ω 等那样阻值整齐区分的电阻,全是 130Ω、560Ω 之类零碎数值的电阻……为什么做的全是这样令人讨厌数值的电阻呢？实际上,如表 4 所示,规定了称为 E 系列的标准电阻值,其他电阻值是一个相互间大小几乎为等比级数的数值系列。

表 4　E24 系列标准电阻值

1.0	1.1	1.2	1.3
1.5	1.6	1.8	2.0
2.2	2.4	2.7	3.0
3.3	3.6	3.9	4.3
4.7	5.1	5.6	6.2
6.8	7.5	8.2	9.1

使用该数值的 10^n 倍



如果考虑到误差的分布,则当相互间电阻的容许误差为一定值时,对电路的设计是合理的。我们仔细分析一下容许误差 ±5% 的(金色色标)470Ω 和 510Ω 电阻时,就能够如图 5 所示,得到 500Ω 电阻。

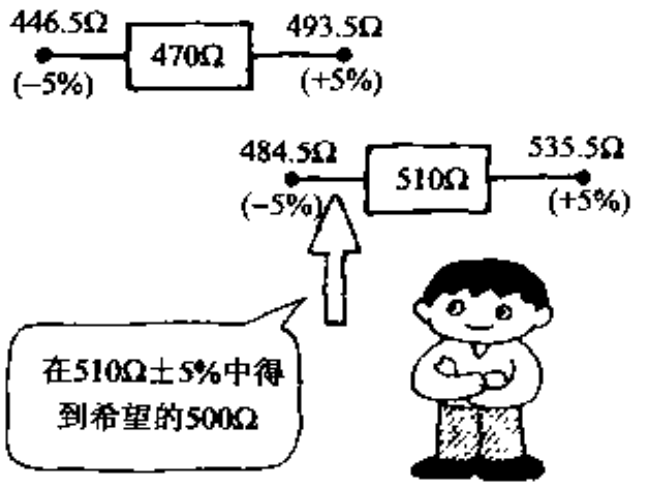


图 5　电阻值和容许误差

什么是额定功率

当电流流经负载时就产生焦耳热，电阻器也不例外。当电路中流过的电流太大时，由于产生热量，电阻值会发生变化甚至会烧断电阻。

当知道流过负载的电流或者电压时，就能够如图 6 所示求出电阻的消耗功率(P)。实际上，以消耗功率的 2～4 倍确定额定功率来选择电阻器。在电子电路中最常使用的电阻器是从$\frac{1}{8}$W(125mW)、$\frac{1}{4}$W(250mW)到 10W 大小的电阻器。

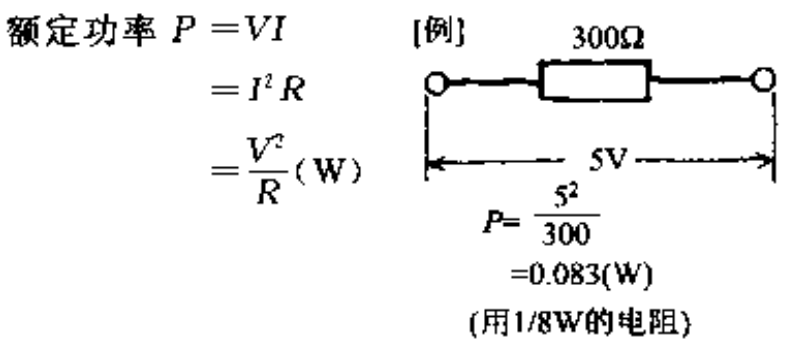
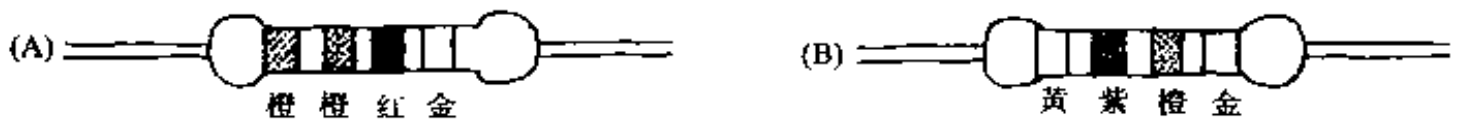


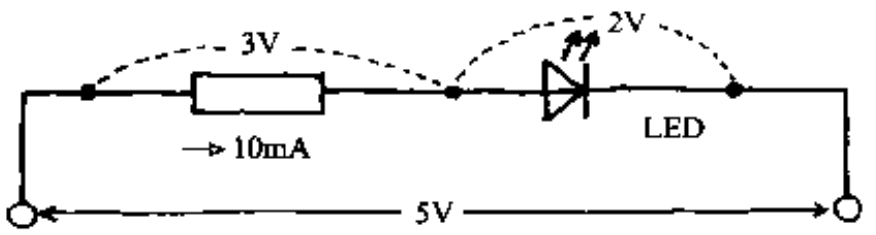
图 6　电阻所消耗功率的求法

练习题

1. 根据色标确定电阻值。



2. 求出下图中的电阻上消耗的功率。

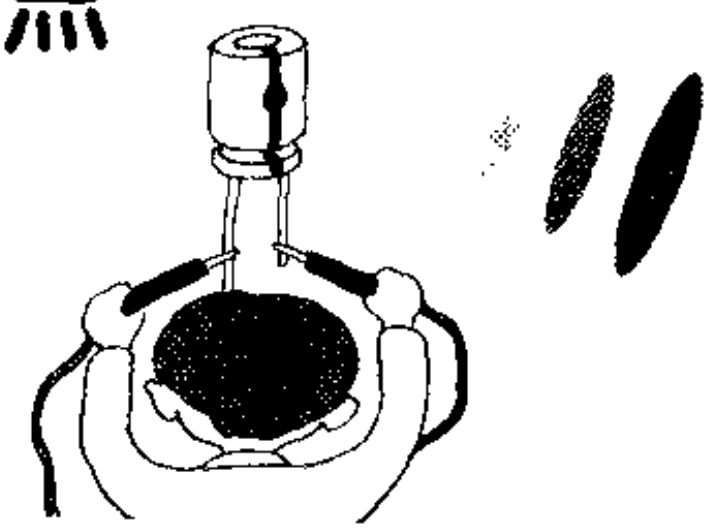


解答

1. (A)3.3kΩ±5%　(B)47kΩ±5%

2. $P=VI=3\times10$ mA$=0.030$ W$=30$ mW(用$\frac{1}{8}$W 的电阻)

3 电容器的特点



与电阻器一样，电容器也是电子电路中不可缺少的元件。

看看我们周围的电子电路产品，例如在便携式立体声单放机、电子记事本、计算器等的基板上，在计算机、打印机、显示器、复印机等OA（办公自动化）设备中，还有我们经常使用的荧光灯中都有电容，它所起的作用也是各种各样的。可以说，“电器”中有一大半都用了电容器。

虽然在我们周围存在大量电容器，但是当我们听到下述提问时：

“电容器到底是什么东西？”

“电容器究竟起什么作用？”

常常很难作出令人满意的回答。下面，让我们一起对电容器进行深入分析。

电容器的作用

如图1所示，平行放置的两块金属板，其间夹着电介质（作为电气绝缘物用的物质，例如空气、玻璃、云母、纸），在金属板上施加直流电压。由于两块金属板之间有电介质，所以两金属板间没有电流流过。但是，如果我们仔细观察电流表的指针，就会发现，在接通开关的瞬间指针摆动，有电流流过。然后，在这种状态下，如图2所示，用电阻代替电池接入电路，将电流表反接，接通开关的瞬间指针再次摆动。

让我们来认真分析一下这些现象究竟是怎样引起的。如图3所示，当在两块金属板上施加电压时，由于电池的作用，金属板内的自由电子就向负极金属板移动。而且，由于电子向电池的负极移动，所以在正极金属板上就蓄积正电荷。该电荷的移动就表现为电流表指针的摆动。这种能够蓄积电荷的元件称

为电容器。电容器的图形符号如图 3 所示，与两块平行金属板的形态相似。

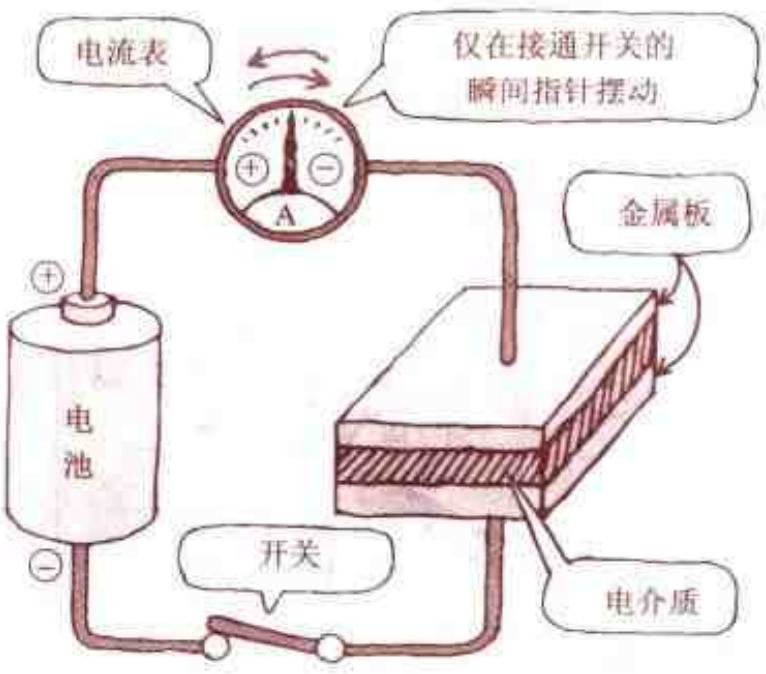


图 1　平行金属板和电池的连接

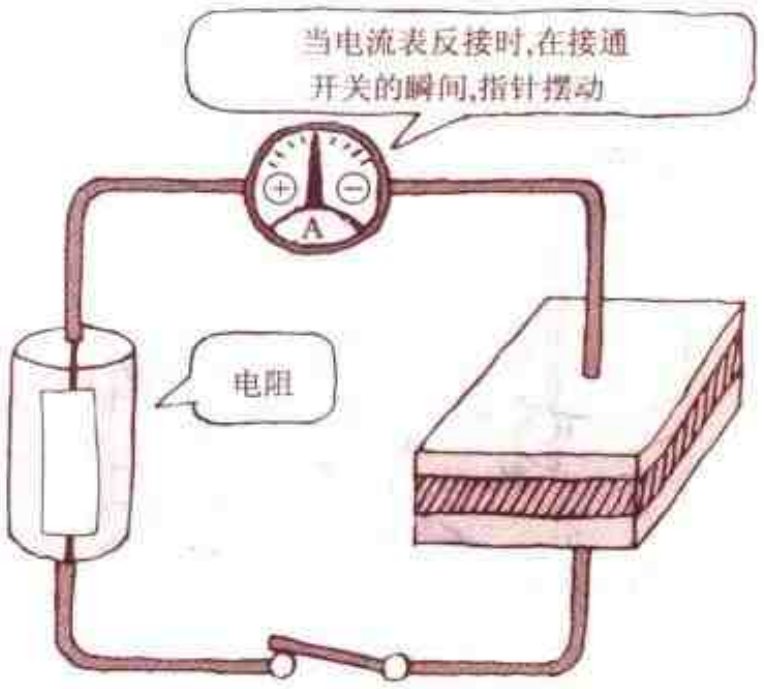


图 2　平行金属板和电阻的连接

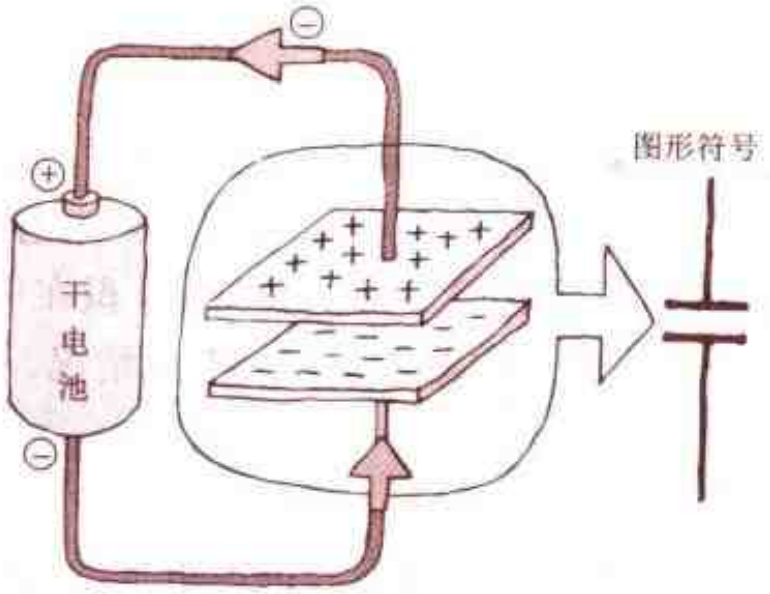


图 3　电容器及其图形符号

电容器的充放电

将电荷蓄积在电容器上称为充电，已充电的电荷从电容器上消失称为放电。如图 4 所示，我们可以万用表来观察充放电的情况。

准备一个电解电容器。如图 4 所示，将万用表调节到 kΩ 量程，将红色测试棒与电容器的负极引脚接触，将黑色测试棒与正极引脚接触。在这个瞬间，电流流向电容器，指针摆动向 0Ω 方向。这时，由于万用表内的电池，电容器被充电。

随着充电的进行，电流的流动变得越来越困难，不久，当电容器充满电时，电流的流动停止，万用表的指针返回到∞Ω(充电)。

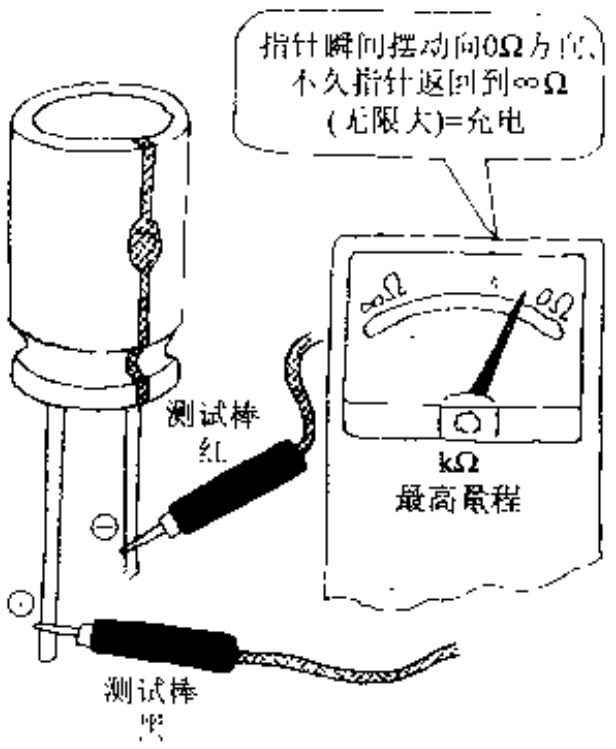


图 4　电容器和万用表的连接(欧姆表)

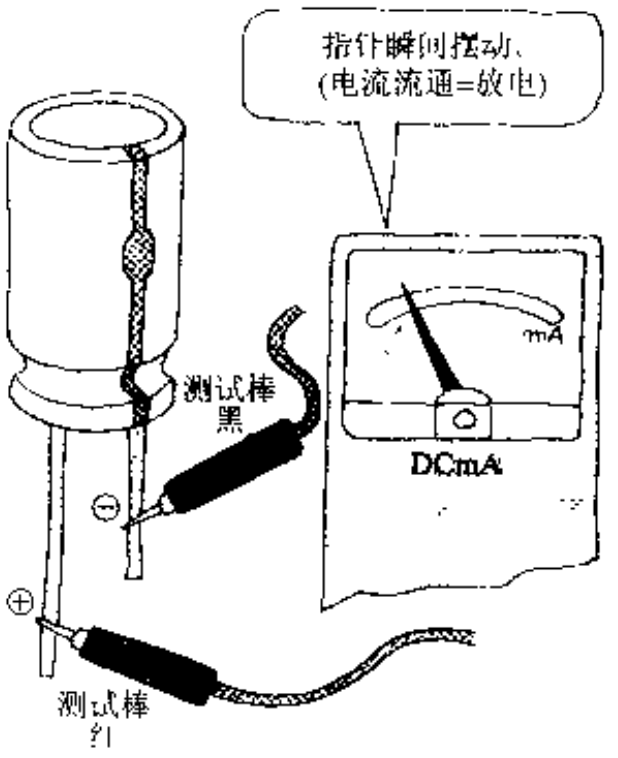


图 5　电容器和万用表的连接(DCmA)

接着，将万用表的量程调节到 DCmA，如图 5 所示，当将万用表的黑色测试棒连接到电容器的负极引脚上，将红色测试棒连接到电容器的正极引脚上时，万用表的指针只瞬间动一下就返回原来的位置，蓄积在电容器上的电荷被放电。希望读者再实际验证一次电容器充电和放电的情况。

流经电容器的交、直流电流

如图 6 所示，将电容器连接在由灯泡和电池组成的电路中，接通开关，灯泡亮了，接着，将开关切断，灯泡就灭了。由此，我们就明白了电容器是不能通过直流电的。(尽管用眼不能看到，实际上，在电容器充电瞬间的极短时间内，有电流流过。)

然后，如图 7 所示，连接交流电源试试看。开关一接通，灯泡就点亮。接着，将开关切断，虽然稍稍变暗，但是灯还在继续亮着。由此可以清楚，交流电流是能够流过电容器的。

但是，电容器并不能无限制地流通交流，它也具有“不让交流流通”(从灯泡变暗的现象可以明白)的与电阻器相同的作用。将这种电容器对交流的“阻抗”称为电抗。

如图 8 所示，即使同样是交流，相对于家庭用电源 50Hz(赫[兹])、60Hz 的

低频率交流来说，在高频率的交流中由于充放电连续不断地反复进行，电抗逐渐变小，电流流过电容器就变得容易。

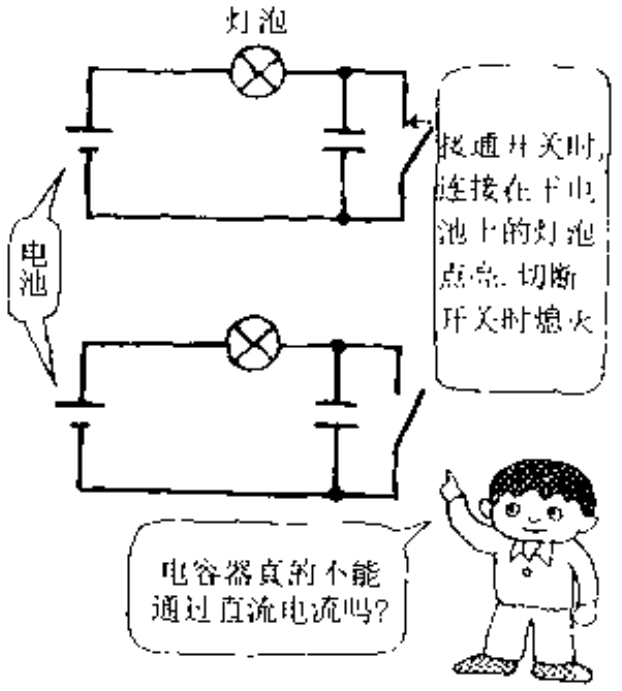


图 6　电池(直流电源)和电容器连接

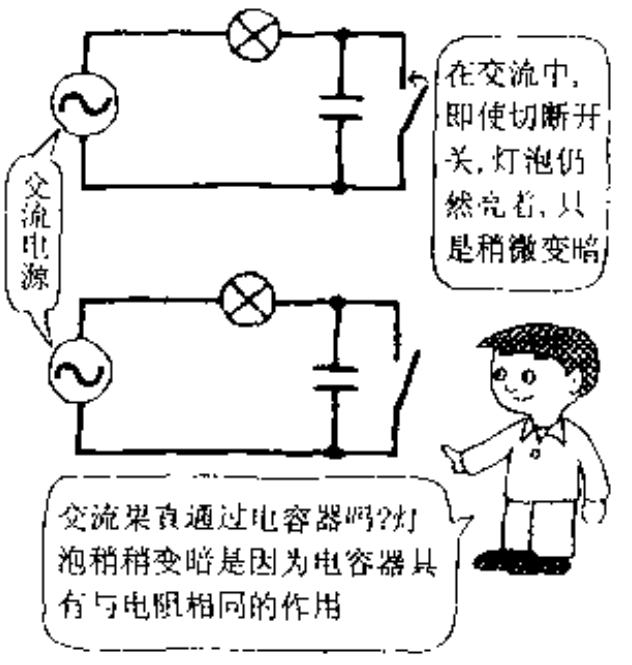


图 7　交流电源与电容器连接

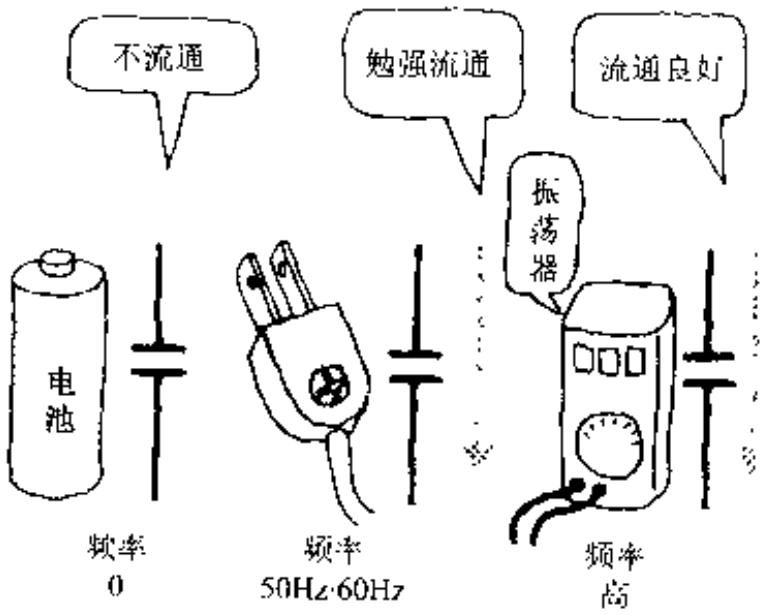


图 8　频率和电抗

电容的单位

电容器能够蓄积的电荷的量用静电电容表示。静电电容大意味着蓄积电荷的能力大。

静电电容的单位使用法[拉]（单位符号为 F）。由于法[拉]这一单位对实用来讲太大了，经常使用的是微法、皮法这样很小的单位。

1 微法(μF)－10^{-6}法(F)　　1 皮法(pF)＝10^{-12}法(F)

在具有静电电容 C(F)的电容器上施加电压 V(V)时，被蓄积的电量 Q(C)用下式求出：

$$Q=C\cdot V(C)$$

如图 9 所示，在 100μF 的电容器上施加 3V 的电压时，蓄积的电量是 $100\times10^{-6}\times3=3\times10^{-4}$(C)

〈要点〉

量	电荷Q	静电电容C	电压V
名称	库[仑]	法[拉]	伏[特]
符号	C	F	V

$Q=C\cdot V$

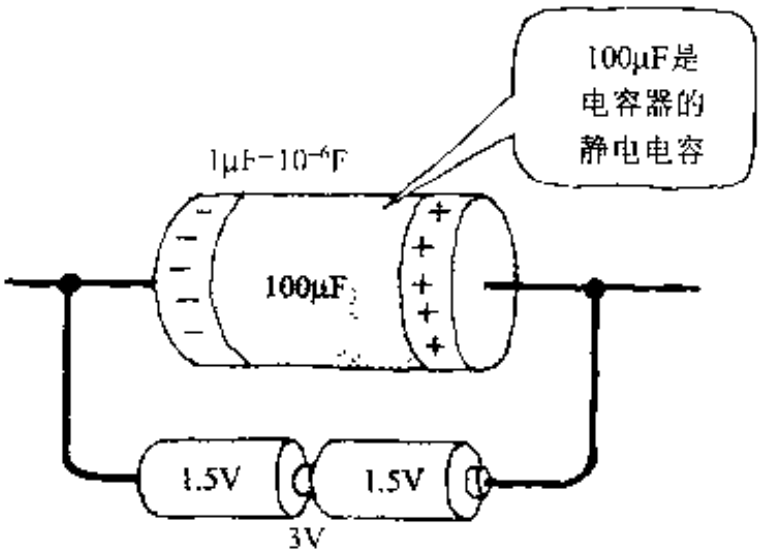


图 9　电容器的静电电容

电容器的种类

作为元件，与电阻器相比，对电容器所要求的性能、特性是多方面的，而且为了符合各自的用途、目的，制造了许多种类的电容器。大致可分为有极性电容器和无极性电容器两类。

(1) 有极性电容器

如图 10 所示，有极性电容器的引脚分别被指定为＋极、－极，使用时必须

与它的极性相合。有极性电容器中有铝电解电容器、钽电解电容器等。

(2) 无极性电容器

无极性电容器在电路中使用时引脚不分极性。这一类中有高频用的陶瓷电容器，还有其他的薄膜系电容器和云母电容器。

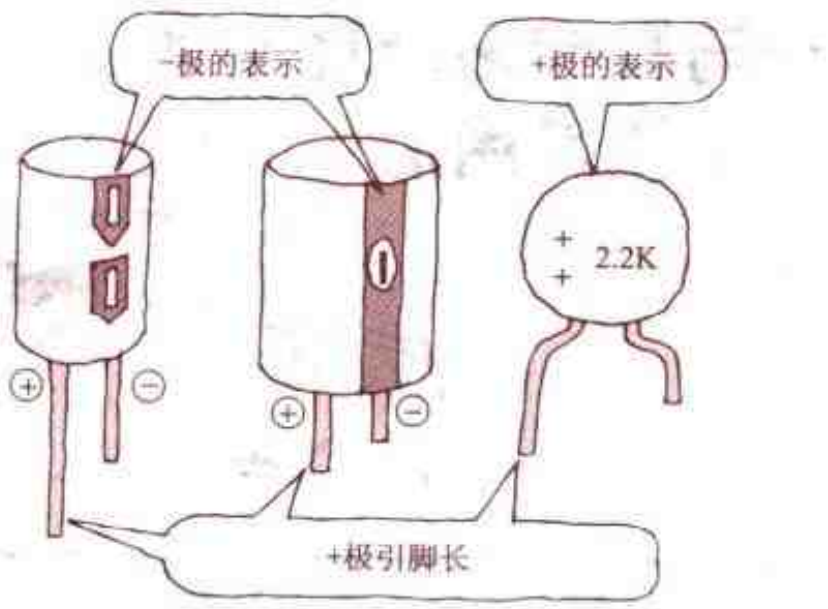
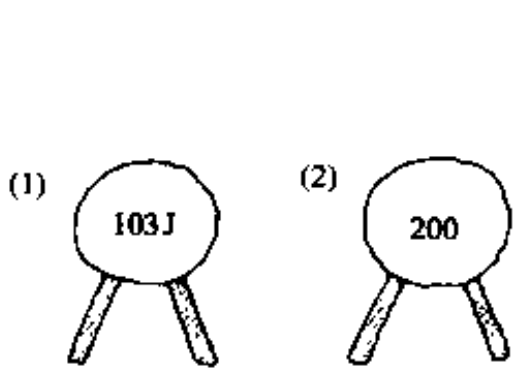
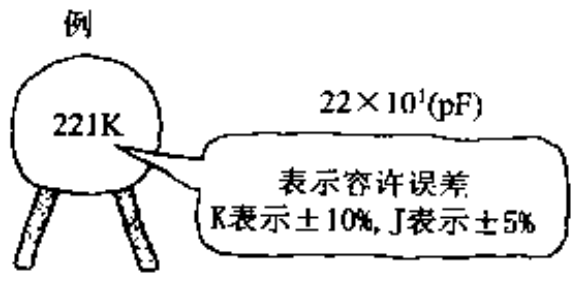


图 10　电解电容器的表示

练习题

1. 陶瓷电容器等的电容表示，如图所示，用最初的 2 位表示有效数字，第 3 位表示乘方数。图中(1)，(2)的静电电容是多少？





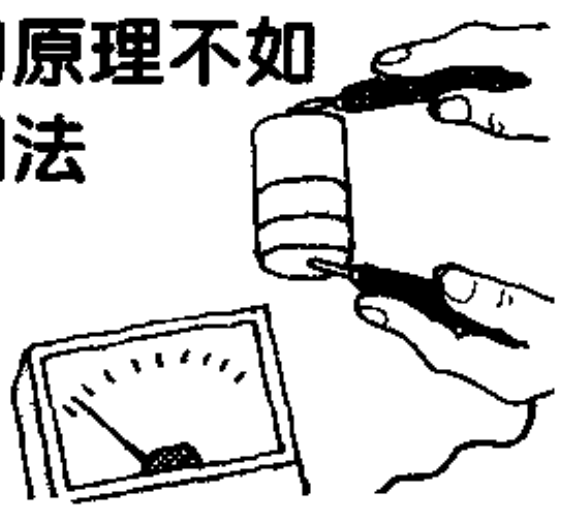
解答

(1) 10×10^{3} pF$=0.01$ μF$\pm5\%$

(2) $20\times10^{0}=20$(pF)

4 万用表的使用方法

——与其学习原理不如习惯其用法



家用电子计算机不工作了

你有过这样的体验吗？“爸爸，家里的电子计算机坏了！”—— 孩子惊奇的叫喊，对孩子来说这真是一件大事。这种情况下，如果能用电路测试仪（以下，称为万用表）检查出损坏的地方并将其修复的话，不就能成为伟大的父亲了吗！（故障的原因大多是由于在整理时将 DC 转接器的软线层层缠绕造成了断线。）

当然，这种情况不仅限于家用电子计算机，随着家用电器的发展，在电连接部分、开关部分等地方，常常发生软线断线等故障。在这种情况下，如图 1 所示，使用万用表进行导通测试，如果能够发现断线的部位，可以说已经完成了修理的一半。

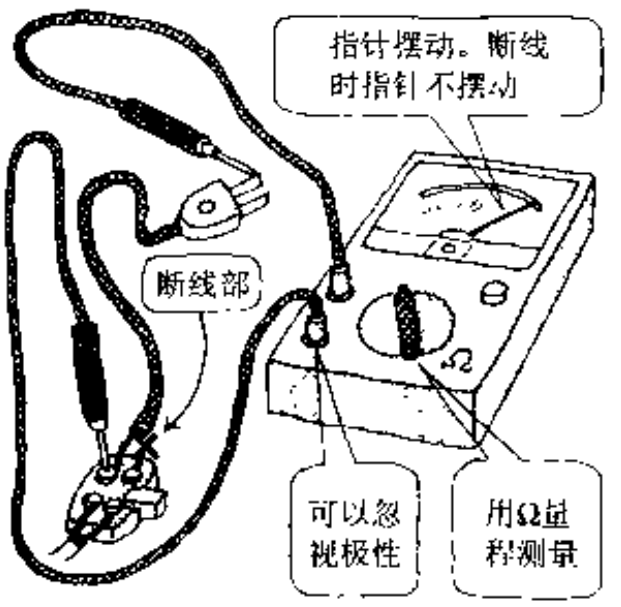


图 1　软线的断线

万用表除了具有发现故障的功能外，也是为检查电路、部件的状态而设计的测量仪器。但是，如果不知道万用表正确的使用方法，那就不仅是“手握宝贝不去用”，而且还有触电的危险。因此，要牢记正确的万用表使用方法，成为用好万用表的行家里手。

仔细了解万用表

万用表分为如图 2 所示的模拟型万用表和图 3 所示的数字型万用表。无论哪种类型的万用表，它的基本结构都是将电压表、电流表、欧姆表的功能集中在一个盒子里，能够测量电压、电流、电阻值等基本电气特性。

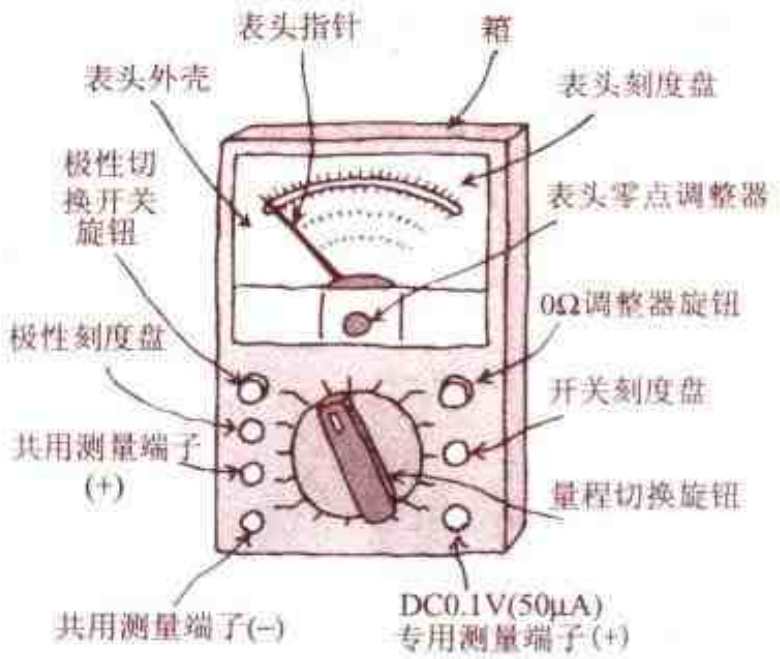


图 2　万用表各部的名称

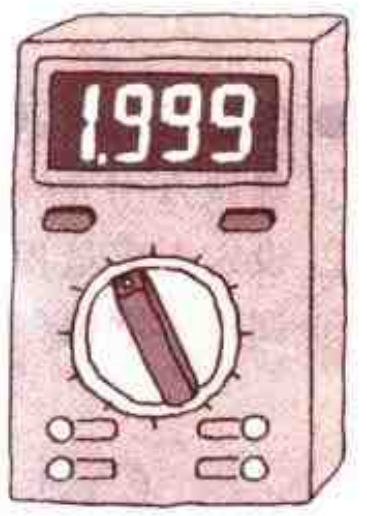


图 3　数字型万用表

● 基本的操作方法

① 将万用表水平放置，使指针不照到反射镜上，从正上方观察读数（参见图 4）；

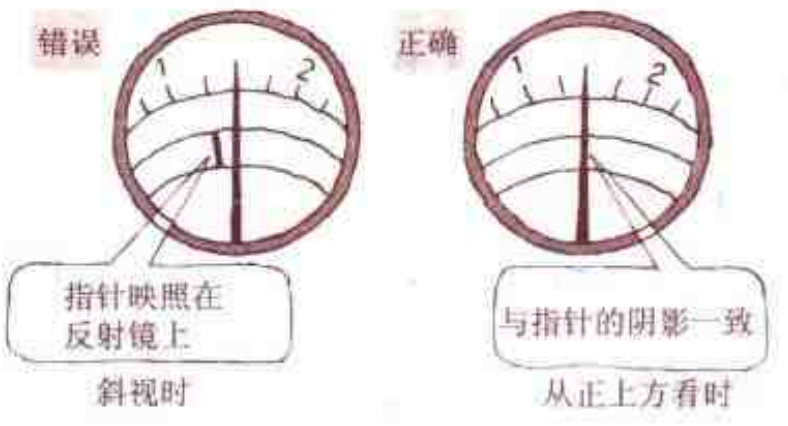


图 4　万用表的读法

② 确认测量量程(参见图 5)；

③ 调整万用表的零点位置(参见图 6)。

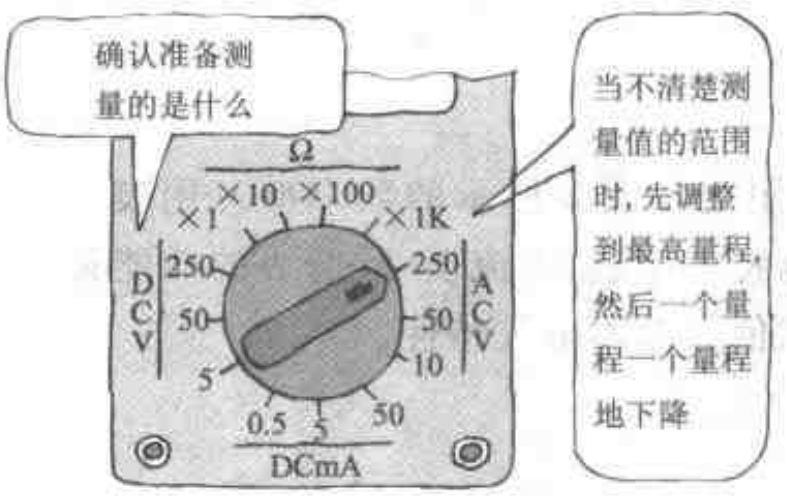


图 5　万用表的量程

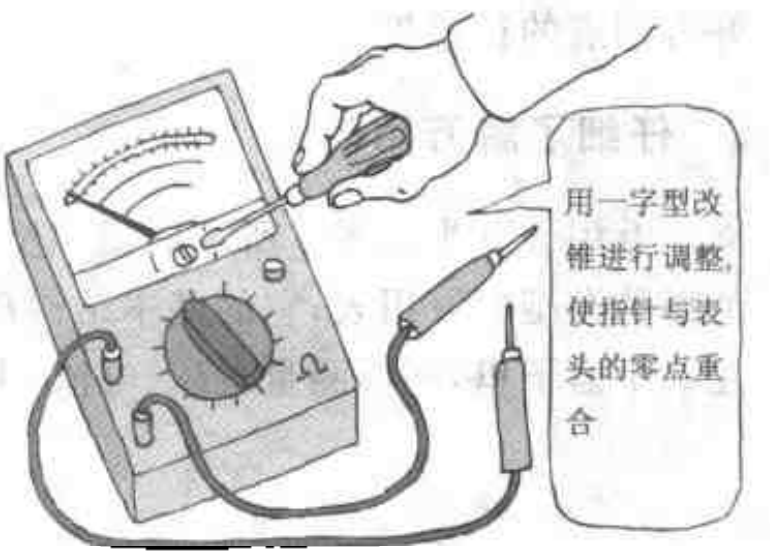


图 6　调整零点

● 电阻值的测量

① 确认万用表的零点；

② 设定电阻量程(参见图 7)；

③ 调整零欧姆(参见图 8)；

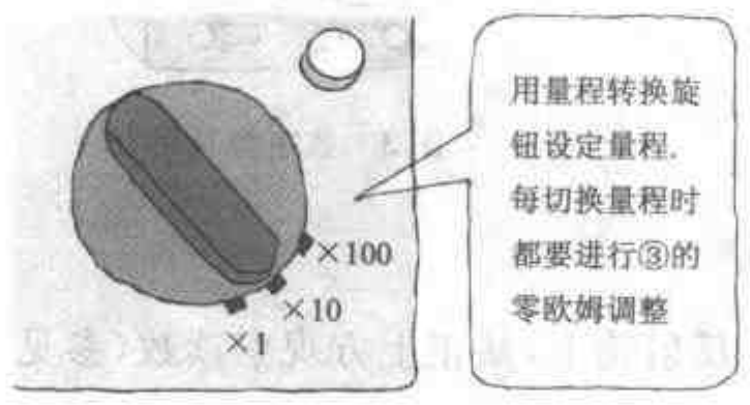


图 7　电阻量程

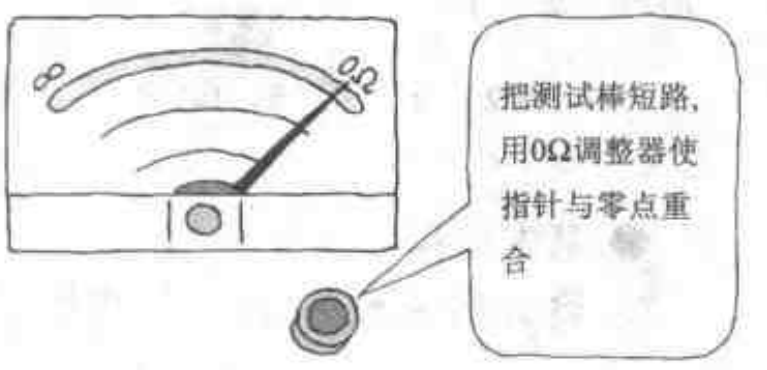


图 8　零欧姆调整

④ 用测试棒接触电阻引线(参见图 9)；

⑤ 读出刻度(参见图 10)。

● 直流电压(DC)的测量

直流中有＋极、－极极性，将“红色测试棒”插入万用表的＋极上，将“黑色测试棒”插入－极上。

① 调整 DC(V)测量范围，如果知道被测值，就将测量范围设定得比该值大；若不知道被测值时，就设定在最大量程；

② 接触测试棒(参见图 11)；

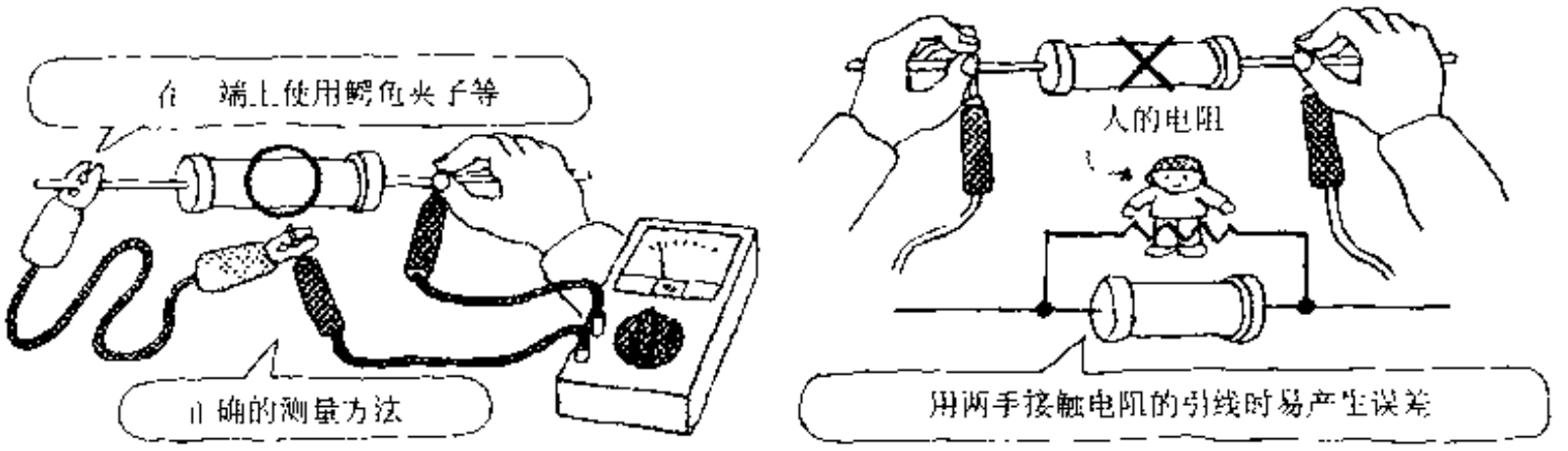


图 9

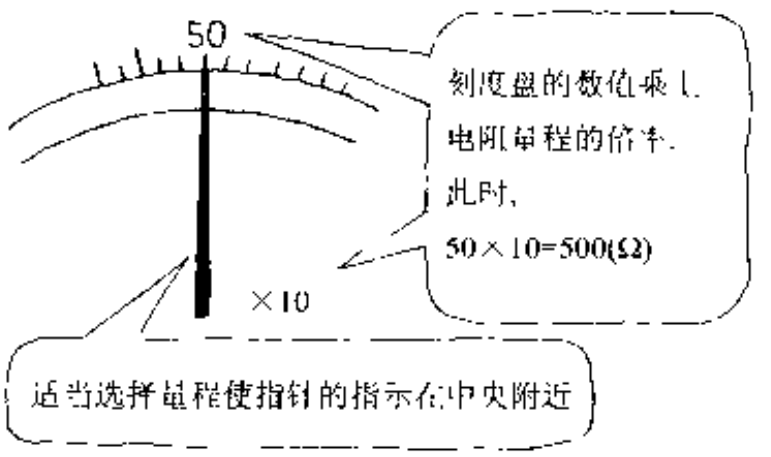


图 10 刻度盘和测量值

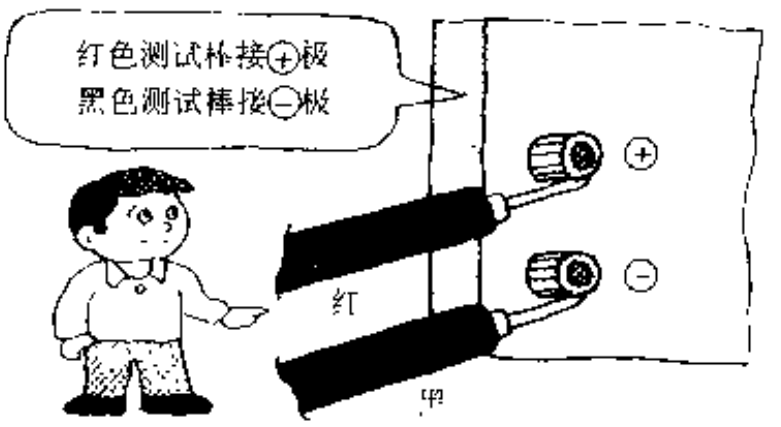


图 11 测试棒和极性

③ 根据量程读出刻度；

下面，举例说明直流电压的测量。

如图 12 所示，在以灯泡等为负载的状态下测量干电池的电压值。在无负载时，会发生无论是旧电池(内部阻抗大)还是新电池都显示同样的电压值的情况。图 13 是电路内的电压测量例子。

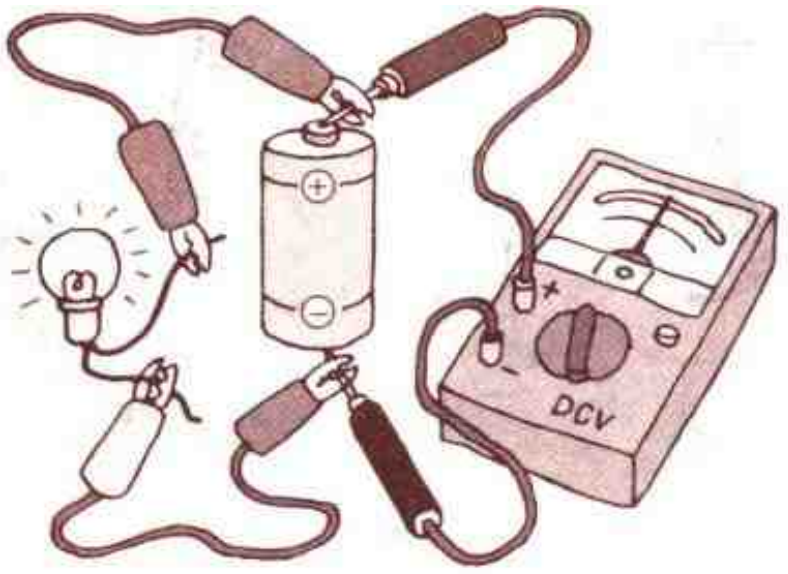


图 12　干电池的电压测量

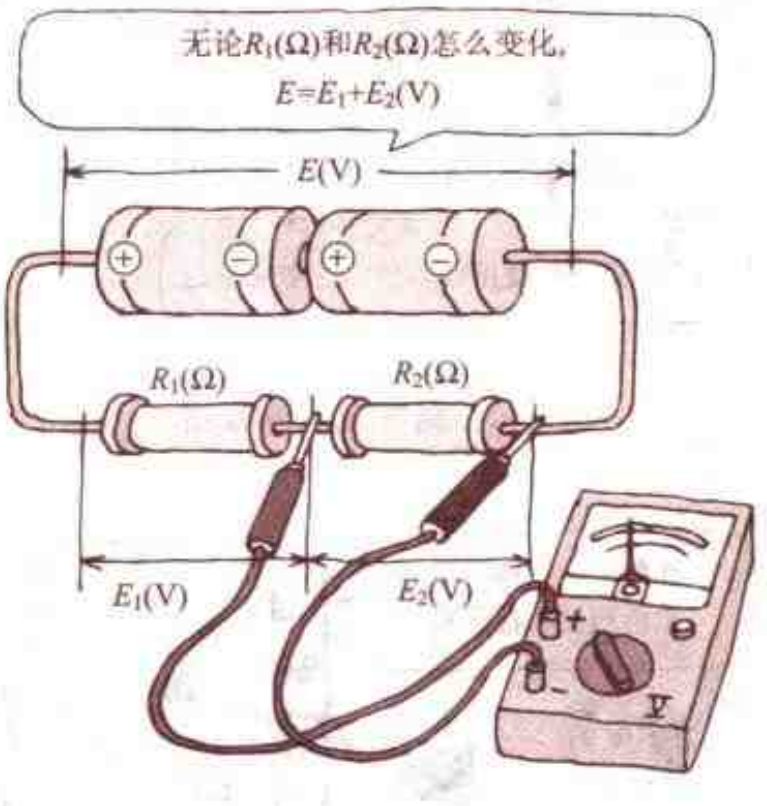


图 13　电路内的电压

● 交流电压(AC)的测量

交流电压的测量与直流电压的测量基本上相同：

① 选择比测量电压稍高的量程；

② 将测试棒与被测物体接触(极性无关)；

③ 根据量程读出刻度。

在家庭用电源中，虽然也曾经用万用表的电压测量功能检查过插座的通电情况，但是如果测试棒短路就太危险了。对此，图 14 所示的方法也是一种安全对策。测试时一定要高度注意。

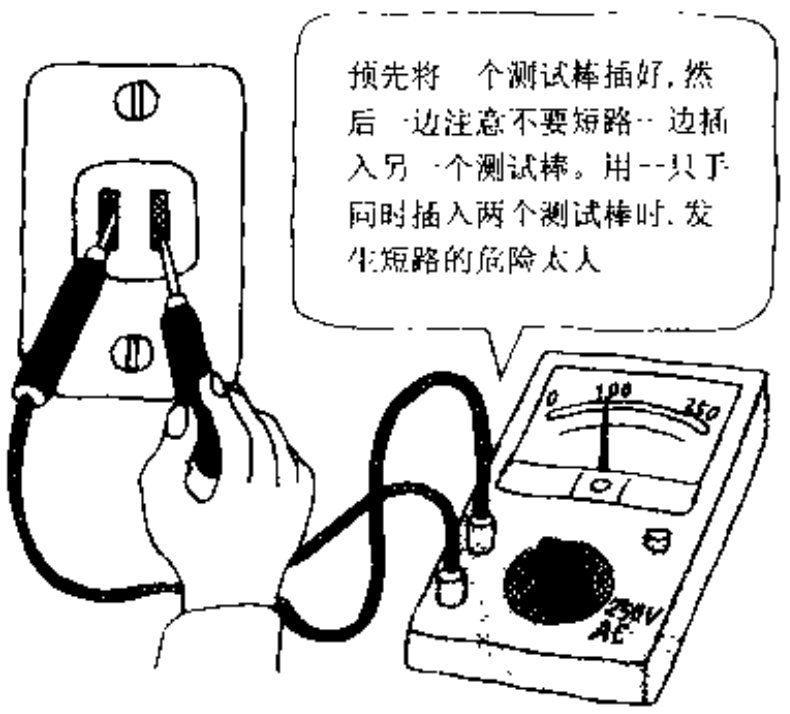


图 14　插座的电压测量

● 直流电流(DC)的测量

为了测量流经电路的电流的大小，应该像图 15 那样将电路的一部分切断，将万用表与电路串联连接(极性要一致)：

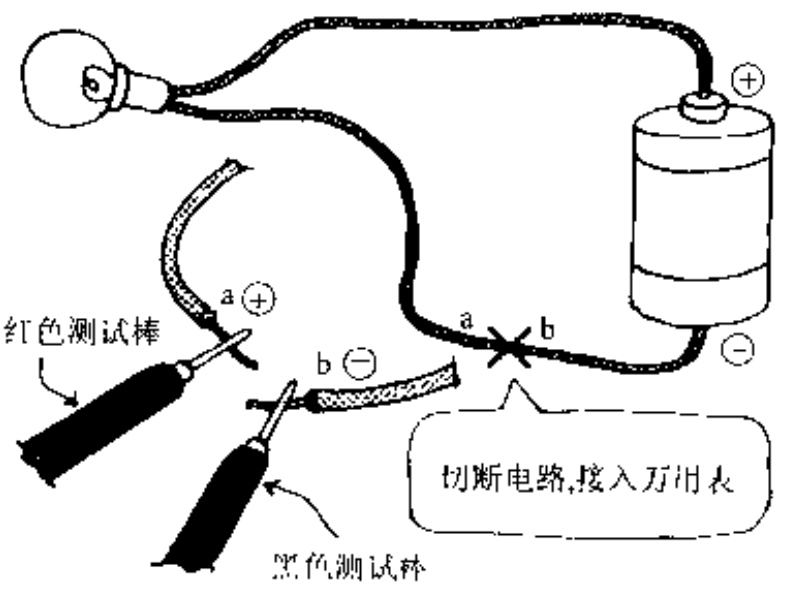


图 15　直流电流的测量

① 调整 DC(A)的量程；

② 将测试棒串联在电路中；

③ 按照量程读出刻度；

④ 当指针的摆动较小时，转换量程使指针摆动到中央附近。

零部件的检查

● 检查二极管的极性是否良好

利用二极管具有的电流单向流动的特征，使用电阻量程，用图 16 所示的方法检查。

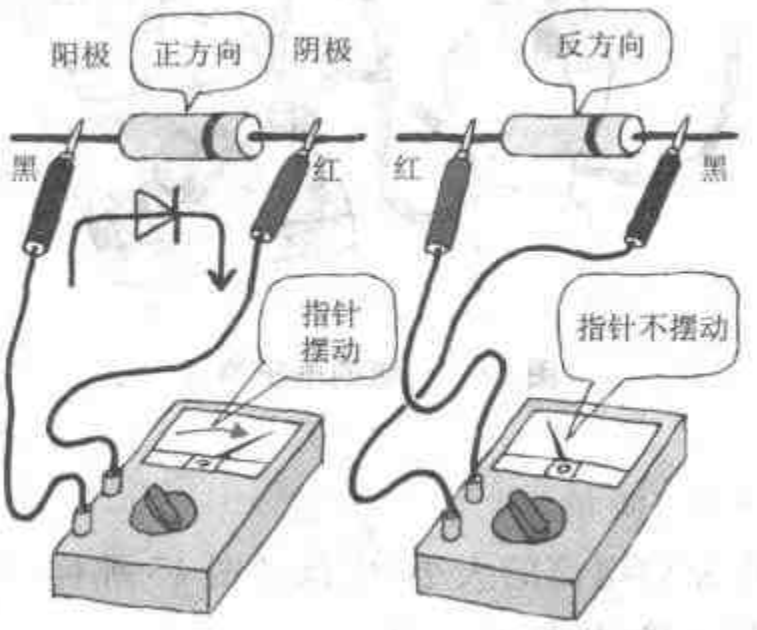


图 16　二极管的检查

● 晶体管的检查

如图 17 所示，将晶体管看作是两个二极管连接起来的产物，用图 18 所示的方法进行测量。

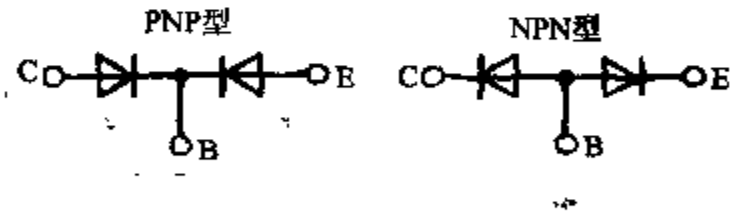


图 17　晶体管的结构模型

● 电解电容器的检查

注意电解电容器的极性，按图 19 所示将测试棒接触被测物体。

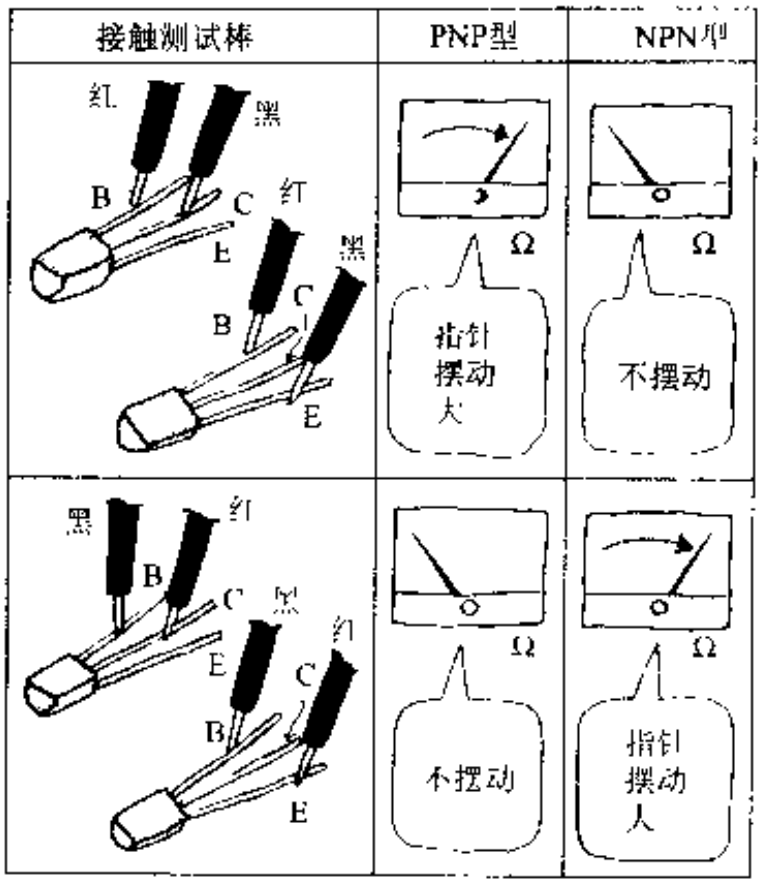


图 18 晶体管的检查

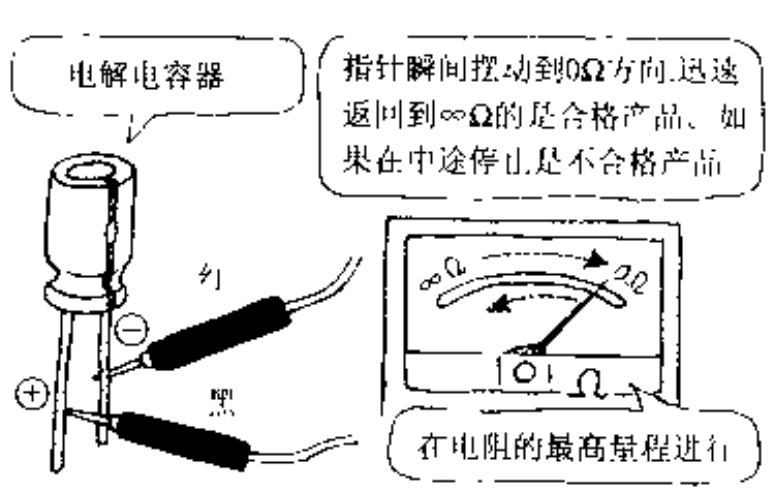


图 19 电解电容器的检查

练习题

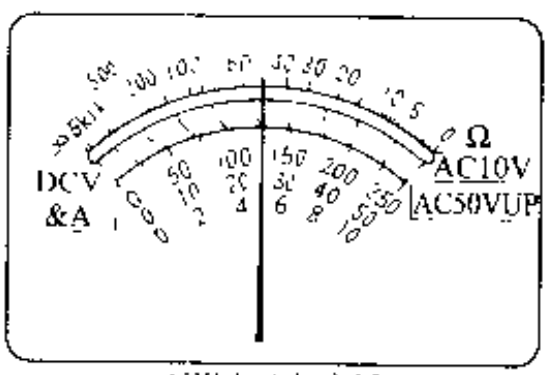
1. 对于图中所示的刻度板，当指针摆动到图示的位置时，它的测量值是多少？

(1) DC10(V)量程

(2) AC250(V)量程

(3) AC10(V)量程

(4) DC50(mA)量程

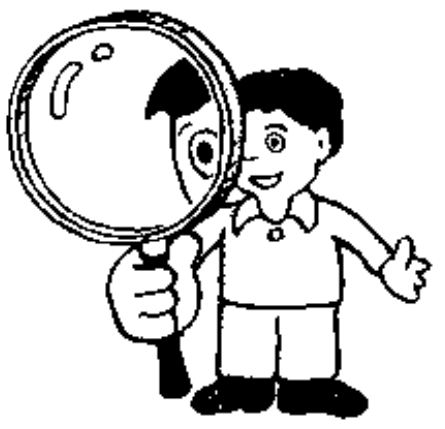


万用表的刻度板

解答

5V，125V，约 5.3V，25mA

5 了解发光二极管(LED)——熟练使用LED



发光二极管

在电子电路等的指示灯(信号灯)和各种各样的显示装置中,广泛使用着红、橙、绿等的发光二极管(LED)。最近,在车站月台上通知电车的行车方向、到达时刻的显示板上也使用LED,将LED 16×16个或者24×24个组合在一起,分别控制它们的亮、灭(ON、OFF),这样就能够看到文字显示。

用干电池点亮LED

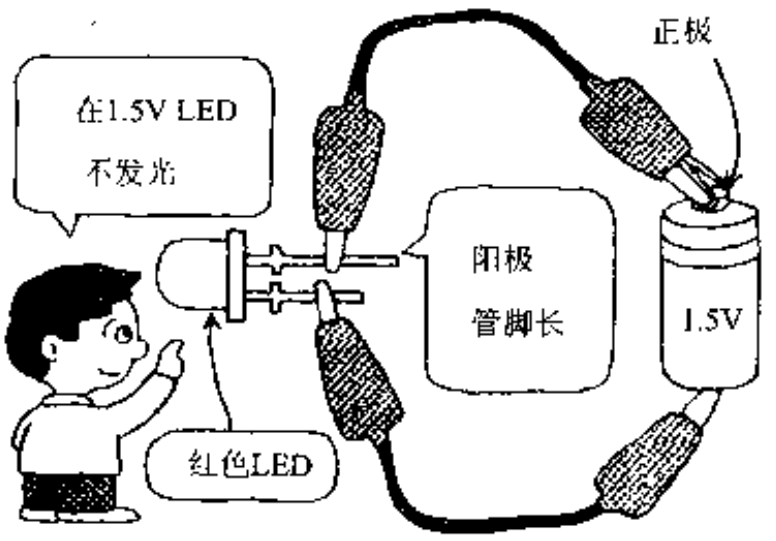


图1 LED和一节干电池

下面,让我们看一看LED是怎样点亮的。

将红色LED按图1所示和干电池(1.5V)连接起来试试看。结果一不发光;再将正、负极反向连接试试看;仍然不发光。然后,将两节干电池串联(参见图2),在LED长管脚的阳极施加3V的电压(称为正方向)试试看。发光了,终于亮起来了。

然后,如图3所示,把3V电压电池的正极连接LED的短管脚,试试看。结果不发光(反方向)。究竟为什么?让我们来进一步了解LED。

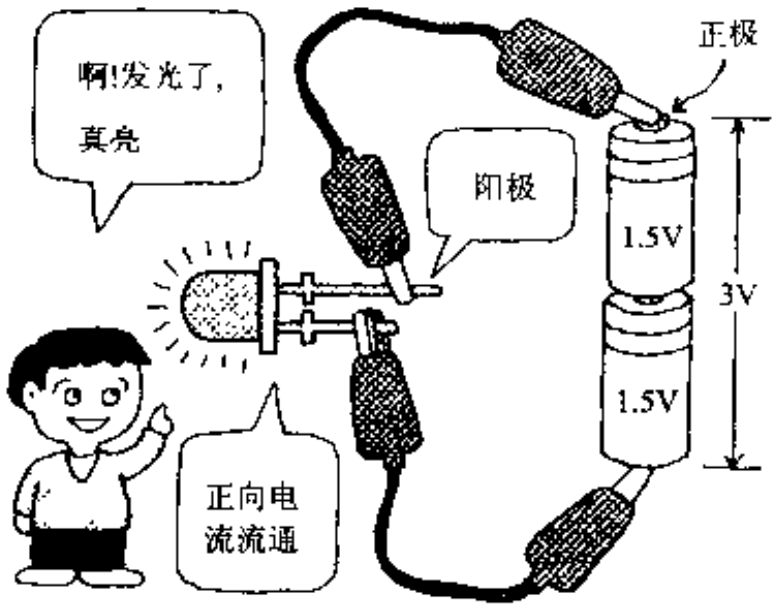


图 2　在 LED 的阳极施加 3V 电压

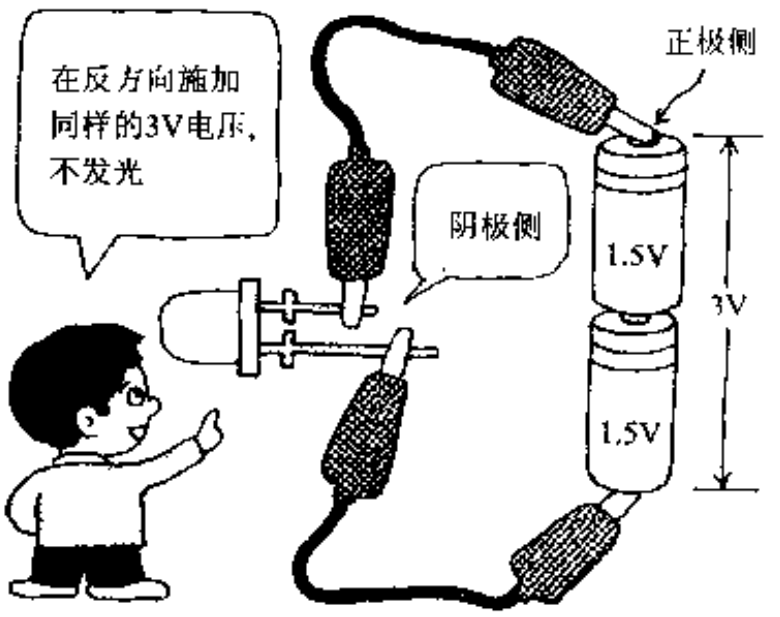


图 3　在 LED 的阴极侧施加 3V 电压

什么是 LED

LED 是 Light-Emitting Diode 的首字母缩写，称为发光二极管。如从上述图 2、图 3 的实验所了解的那样，这是一种流过正向电流时就发光的半导体，是二极管家族的一员。换句话说，“LED 就是将电信号变换成光信号的显示元件”。

LED 晶片材料和发光颜色

LED 的材料大多使用元素周期表中的Ⅲ-Ⅴ族化合物。主要使用的、已实用化的有

- GaP(镓磷化合物)
- GaAsP(镓砷磷的化合物)
- GaAlAs(镓铝砷的化合物)

在这些化合物中加入微量的氮添加物,可以调整发光颜色。表 1 示出主要的发光材料和发光颜色的关系。

表 1　LED 晶片材料和发光颜色

LED 芯片材料的种类	发光颜色
GaP	红、绿
GaAsP	黄、橙、红
GaAlAs	红
GaN	蓝

红色、绿色,再加上蓝色的 LED 如果能够成功,光的三原色就齐备了(参见图 4),那时,壁挂式电视机等大型显示器就能够实用化。

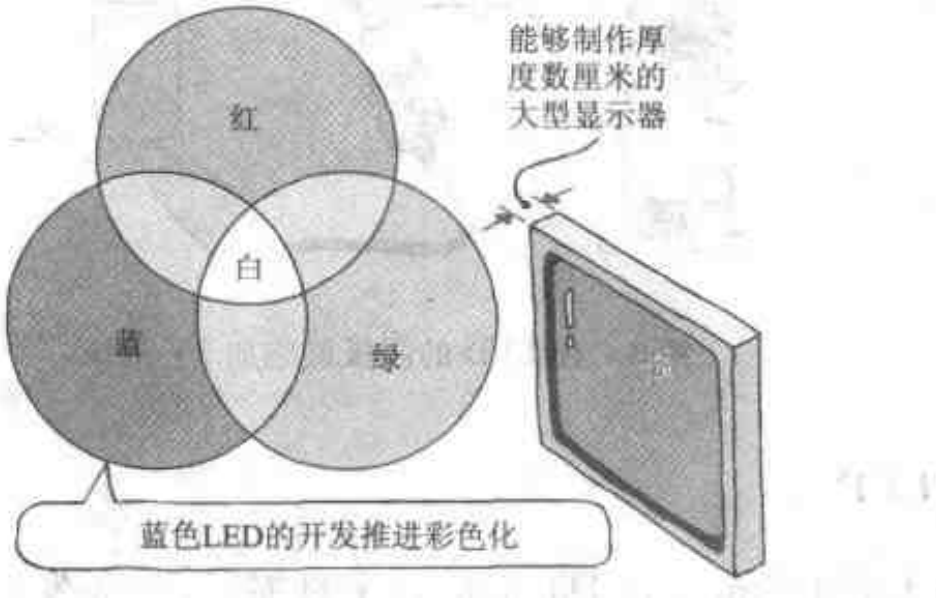


图 4　光的三原色

有人曾经说过:蓝色 LED 的开发在 20 世纪中是不可能成功的。但是,日本的研究人员在 1993 年开发成功了氮化镓材料的蓝色 LED。后来,蓝色 LED 的低价格化、高亮度化在不断进展。

LED 的特征

在一般实用的小型 LED 中,LED 的亮度是 0.1～20mcd(毫坎[德拉])左右,没有足够的亮度。但是,与电灯和氖管等相比,由于它具有以下优点,在电

子仪器的指示灯和传感器的光源中仍然使用 LED：

- 几乎不发热；
- 消耗功率小(在低电压、低电流下能够连续发光)；
- 寿命长(在正常使用情况下达到半永久性的寿命)；
- 发光颜色丰富，看得清楚；
- 能够制作形状不同的发光体；
- 响应速度快；
- 能够大量生产(价格便宜)。

最近，开发了超高亮度(几坎至二十坎)的红色 LED，可用于公路交通的信号灯、室外的电光布告栏等。

LED 的结构

作为光源的 LED 晶片，用无色或者对发光颜色透明的树脂充填成形。如图 5 所示，在 LED 中有阳极“＋”(管脚长为阳极)和阴极“－”(管脚短为阴极)

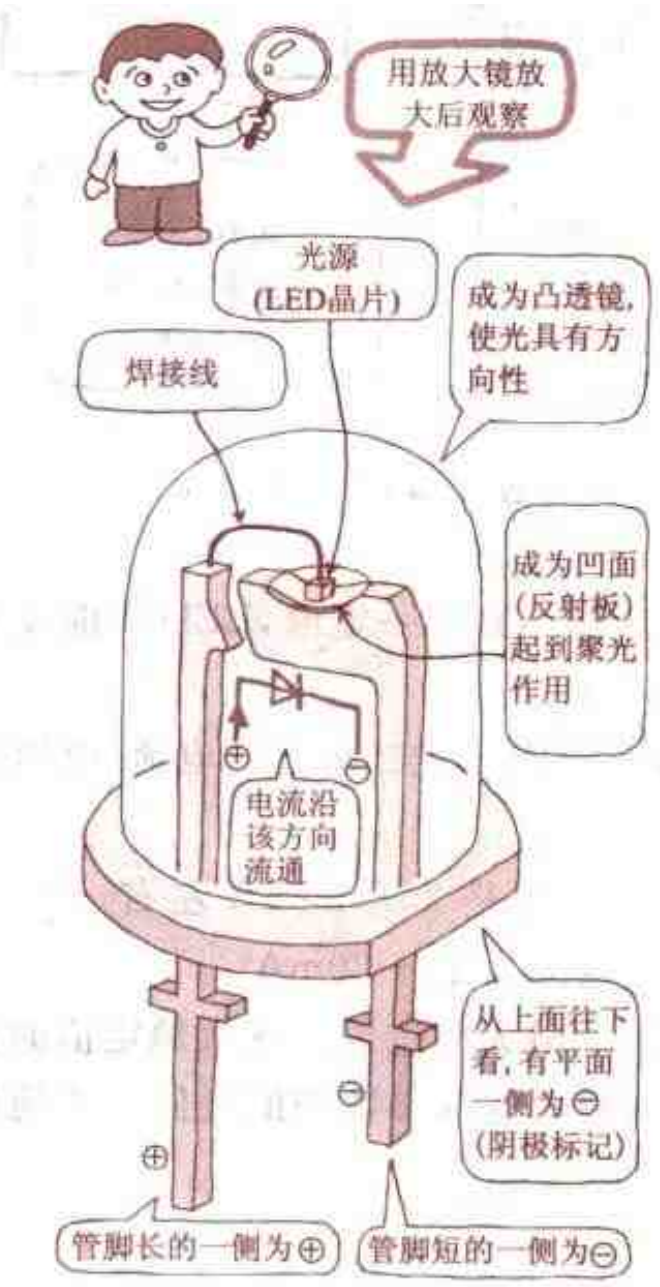


图 5　LED 的放大模型图

两个电极。

光源放在皿形的凹面反射板中，由于凸透镜状的树脂透镜的作用，使光具有方向性。

LED 的电气特性

可以将上述内容总结如下：

① LED 有极性。如图 6 所示，在阳极施加正电压，称为“施加正向电压”。一旦施加正向电压，LED 就发光。

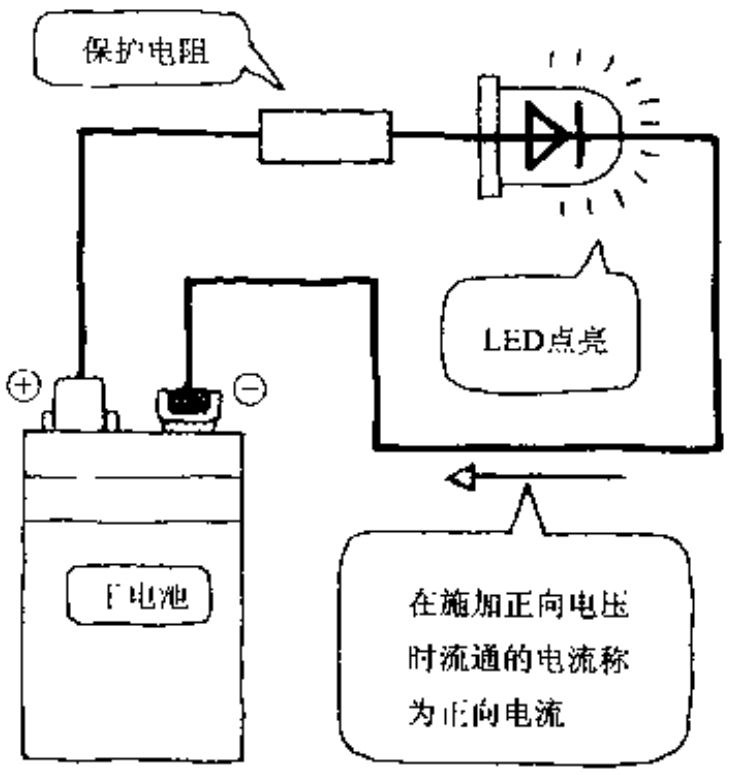


图 6　LED 的正方向

② 若施加的正向电压达不到某一定值，LED 不能发光。为了发光，最低需要施加约 1.8～2.0V 的电压。

图 7 示出了 TLR102(GaP)发光二极管的电流-电压特性。由图可知，从约 1.78V 开始有电流通过。

③ 电流有限制。最大电流是 25～35mA 左右。因 LED 的材质不同最大电流也不同。推荐的工作电流为 10～20mA。

表 2 示出了 TLR102 的最大额定值。最大额定值的各项参数是 LED 制造厂商规定的，用户使用时，只要这些参数中的任何一项超过限度使用，制造厂商就不能保证 LED 的工作。

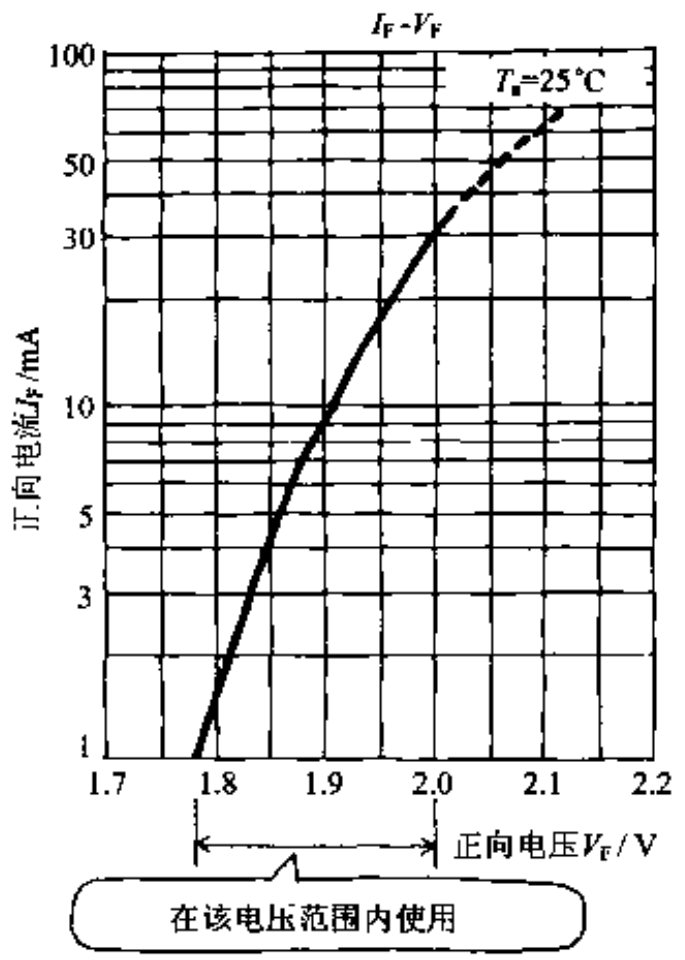


图 7　LED 的电流 电压特性

表 2　TLR102(红色 LED)

项　目	直流正向电流	直流反向电压	容许损耗	保存温度
符　号	I_F	V_R	P	T_{stg}
额定值	25	4	75	−30～100
单　位	mA	V	mW	℃

注：最大额定值(T_a=25℃)

LED即使是与灯泡同样类型，也有各种各样的性质差别。了解LED的性质是正确使用LED的诀窍(T_a:环境温度)

最大额定值的规定并不是仅限于 LED，对于电气零部件、电子电路的元器件都有这样的最大额定值标示。使用时，与一般的半导体器件一样，最好在最大额定值的 70%～80%以下驱动器件。

④ 反向电压的最大额定值是 3～4V。如图 8 所示，在反方向(相对正方向而言，电流的方向相反)施加电压时，LED 不点亮。虽说 LED 不亮，但当电压继续上升时就超过了额定的反向电压值。使用 LED 必须注意外加电压的极性。

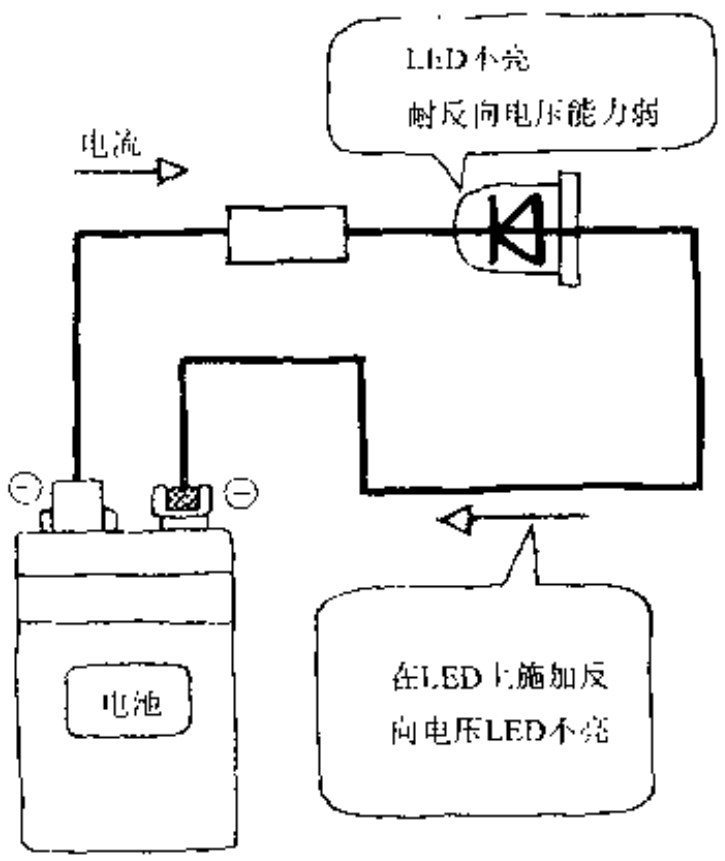
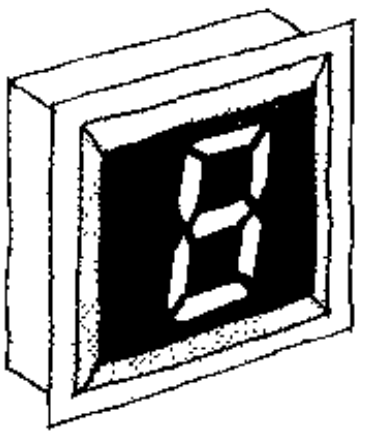


图 8　在 LED 上施加反向电压

〈要点〉

常常看到如图所示表示十进制数、十六进制数的显示器，这称之为 7 段 LED 显示器[由于有 7 个段(发光部分)，所以称为 7 段]，用于表示数字。这时使用高亮度 LED，根据用途有专用的驱动 IC(集成电路)。



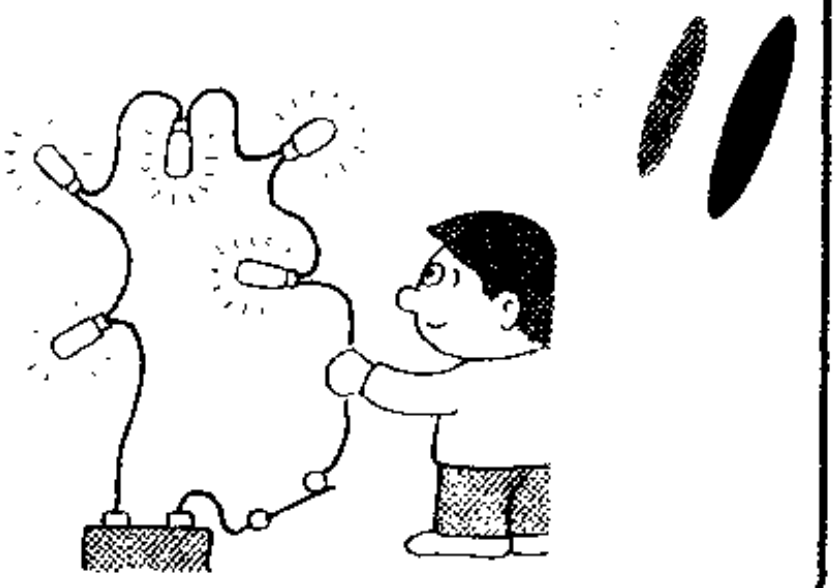
练习题

1. 与电灯相比，LED 有什么特征？
2. 何谓 LED？

解答

1. 功率消耗、发热小、寿命长、发光颜色丰富，响应速度快
2. LED 是"light emitting diode"的简称，即发光二极管。

6 活用LED ——求出限流电阻



用万用表检查LED

为了使LED发光，必须如图1所示那样使电流在LED上正向流过。在LED的电极上有表示哪一方是阳极，哪一方是阴极的标记(参见图2)。

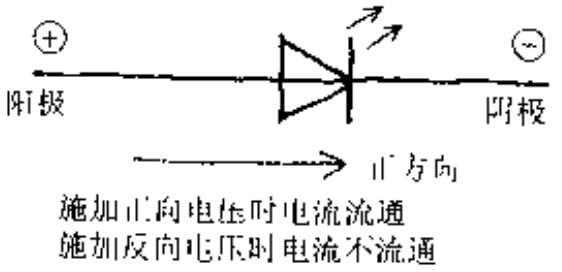


图1 LED的正方向

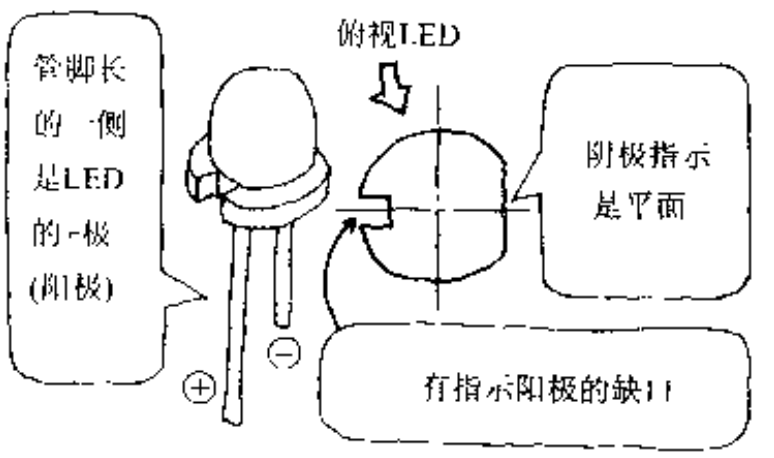


图2 LED极性的标记

当实际使用LED的时候，可以用手边的万用表确认LED的极性：

① 调整欧姆档到最高量程；

② 将测试棒接触LED的管脚。

如图3所示，当将黑测试棒触向LED的阳极，红测试棒触向LED的阴极时，万用表的指针就摆动(由于万用表内的电池，电流正向流过LED)。由于万用表处于电阻的最高量程，所以电流很小，若要了解是否发光，可将Ω量程下降，就能够清楚地看到发光的情形。



图 3　用万用表检查极性

〈要点〉

在万用表的 Ω 量程上，红测试棒上施加负电压，黑测试棒上施加正电压。需要使用内装 2 节电池的万用表。

③ 当 LED 发光时说明 LED 正常，而且，电流正向流过，这样，就能够确认 LED 的电极。

红测试棒——LED 的阴极

黑测试棒——LED 的阳极

④ 如图 3(b)所示，当将两个测试棒互换，接触相反一侧时，万用表的指针不摆动，LED 不发光。

LED 的点灯电路

迄今为止，我们介绍了 LED 的特性，现在我们来分析点亮 LED 的实际电路。

LED 的正向电压约是 2V。当在 LED 上施加的电压高于 2V 时，为使流经 LED 的电流不致过大，如图 4 所示，把限制电流用电阻串联连接。

(1) 电流限制用电阻的求法

可以由在电路中流动的电流和电压求出限流电阻，按照欧姆定律，可以用下式求出：

$$\text{电阻}=\frac{\text{电源电压}-\text{LED的正向电压}}{\text{在LED中流通的电流}}$$

（推荐的工作电流一般为0.01A=10mA）

例如，在电源电压为 5V、流经 LED 的电流为 10mA 时，这时使用的限流电阻为 300Ω。

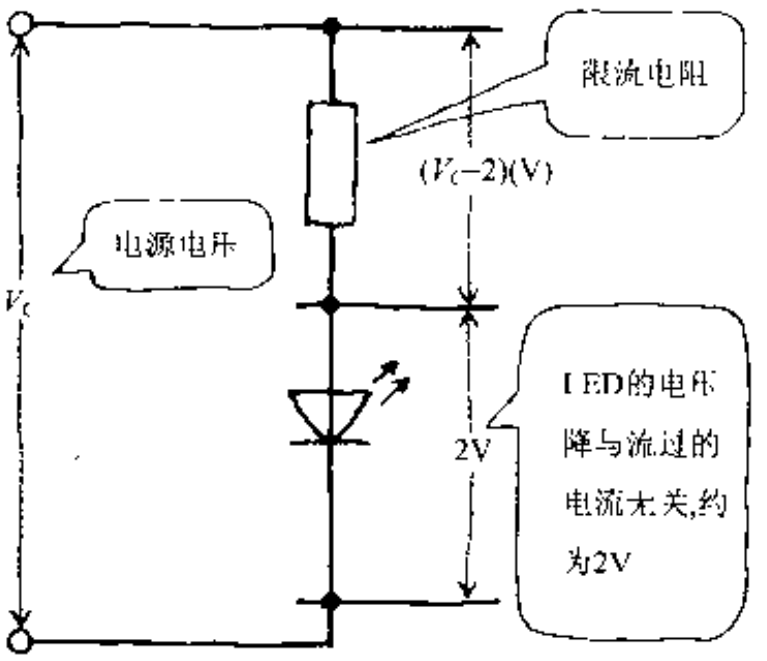


图 4　LED 点灯的基本电路

在图 5(a)、(b)中，以经常使用的直流电源电压 5V、12V 为例，示出了限流电阻的求法。用这些方法基本上能够组合简单的 LED 电路。但是，实际上，为了得到 LED 必要亮度（电流越大越亮）的电流值等，还需认真了解制造厂商的产品目录和数据集。

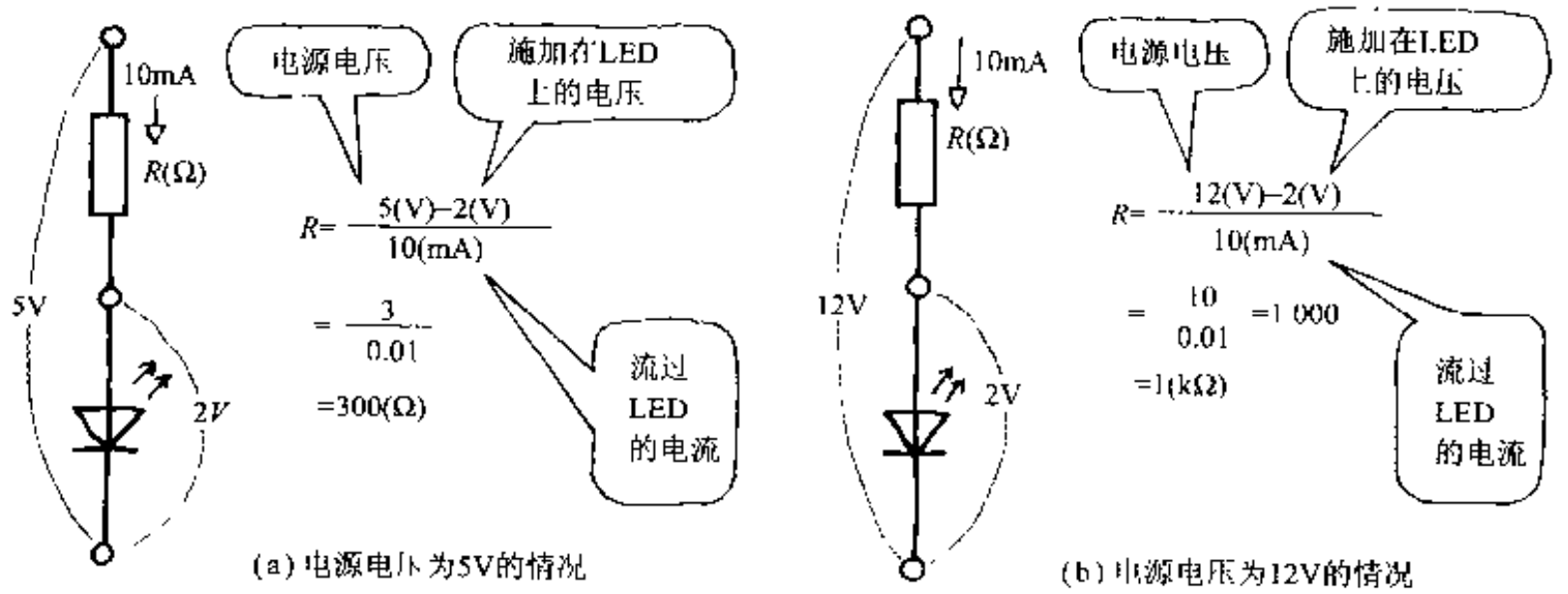


图 5　限流电阻的求法

(2) 限流电阻的容许功率

与 LED 串联连接的限流电阻是为了在 LED 上施加适当的电压而设置的。但是，对这个电阻而言，除了电阻值，还有一个额定功率，即，在这个电阻上能够消耗的最大功率(最大发热量的限度)需要确定。在电阻上消耗的功率能够用下式求出：

$$P=V\times I(\mathrm{W})$$

(V：电阻两端的电压；I：流经电阻的电流；功率的单位为瓦)

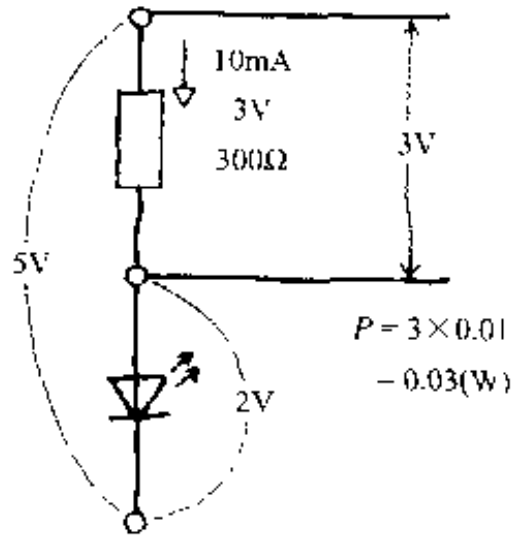


图 6　在电阻上消耗的功率

因此，例如，在图 6 的 300Ω 电阻上产生的功率为

$$P=3\times 0.01=0.03(\mathrm{W})$$

电阻的额定功率是 $\frac{1}{16}$ W(0.0625W)，$\frac{1}{8}$ W(0.125W)，$\frac{1}{4}$ W (0.25W)，$\frac{1}{2}$ W(0.5W)，1W，…。在考虑电阻值的同时也需考虑额定功率，这是选择电阻的一个要点。

LED 的串联连接

一说到电灯的串联连接会立刻想到圣诞树上的电灯的连接。这里，我们首先考虑一下使用 LED 的串联连接电路(参见图 7)的限流电阻。使用 12V 的电池作为电源，使 5 个 LED 点灯。

$$R(\Omega)=\frac{12(\mathrm{V})-2\times n(\mathrm{V})}{10(\mathrm{mA})}$$

(R：限流电阻；12(V)：电源电压；2：1个LED的正向电压；n：n=5, 5个LED；10(mA)：流过LED的电流)

$$=\frac{12-10}{0.01}$$

$$=200(\Omega)$$

如果使用的 LED 是同类的 LED，它们的亮度一致，如果使用的是其他种类或者颜色不同的 LED，亮度虽然不同但是还点灯。在使用几个 LED 的情况下，即使仅有一个地方的极性弄错，所有的 LED 就都不会点亮。

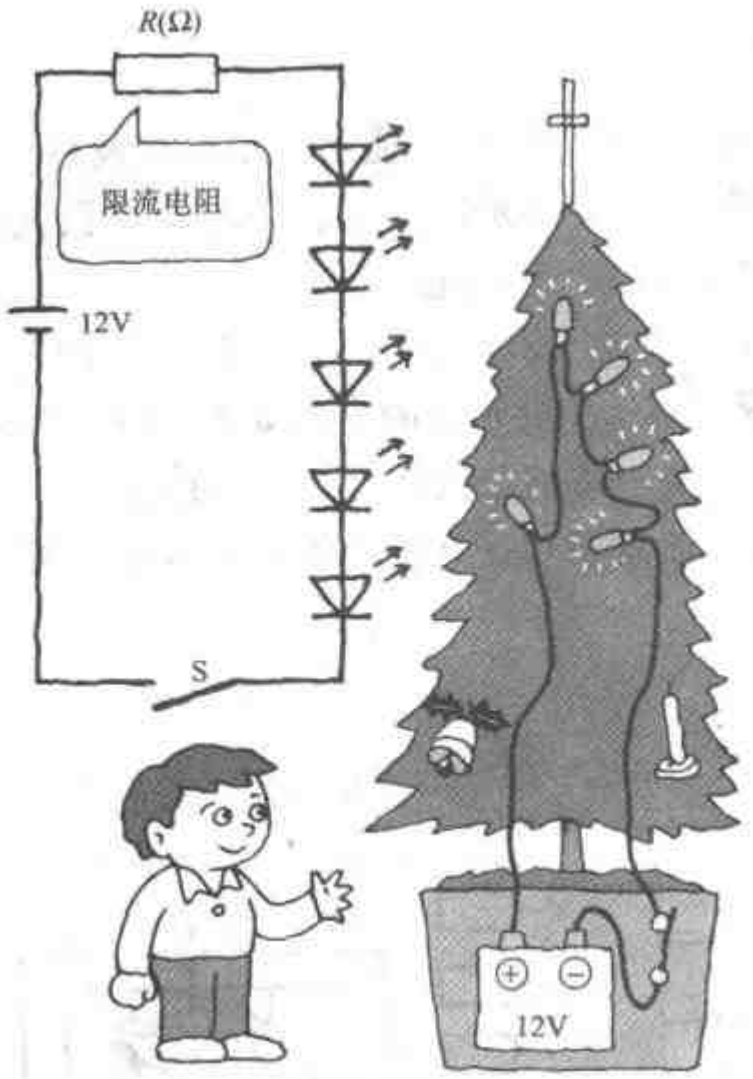


图 7 LED 的串联连接

LED 的并联连接

在将 LED 并联连接的情况下，如图 8(a)所示，仅仅将 LED 并联连接时，有时会产生亮度不一致的情况。因此，应如图 8(b)所示，将限流电阻和 LED 串联连接后再并联连接。

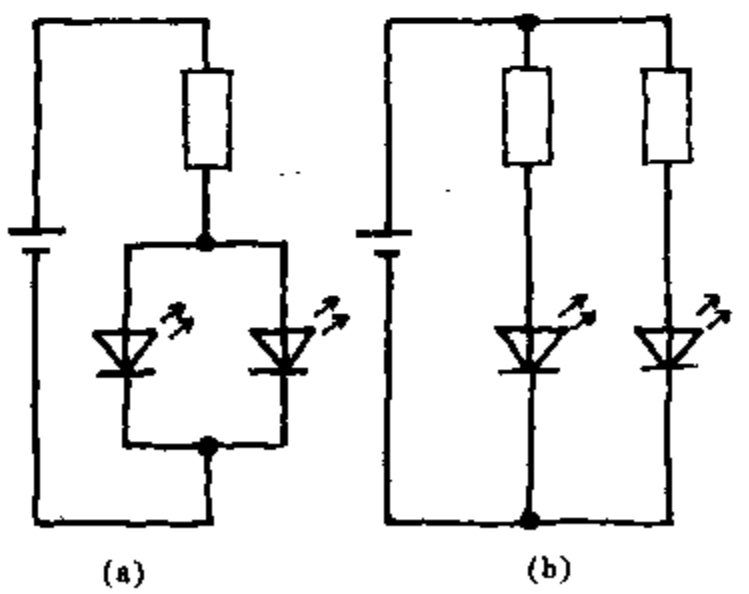


图 8 LED 的并联连接

7 段元件的点灯

使用如图 9 所示的 LED 芯片，将能够表示英文及数字的 LED 显示器称为 7 段元件，它大多作为数字显示元件使用。在驱动 7 段元件的情况下，几乎都使用用于这种用途的专用 IC(集成电路)。

基本上是使用 7 个段的 LED 和一个起小数点作用的点(Dp)，共计使用 8 个 LED 组成 LED 显示器。7 段元件的连线如图 10 所示，阳极或者阴极为公共节点，相反一侧引出一条一条的公共线。例如，在图 9 中，若希望表示“1”，使 B 和 C 的 LED 上流通电流就可以了，为了表示“0”，则需使 ABCDEF 的 LED 上都流通电流就可以。

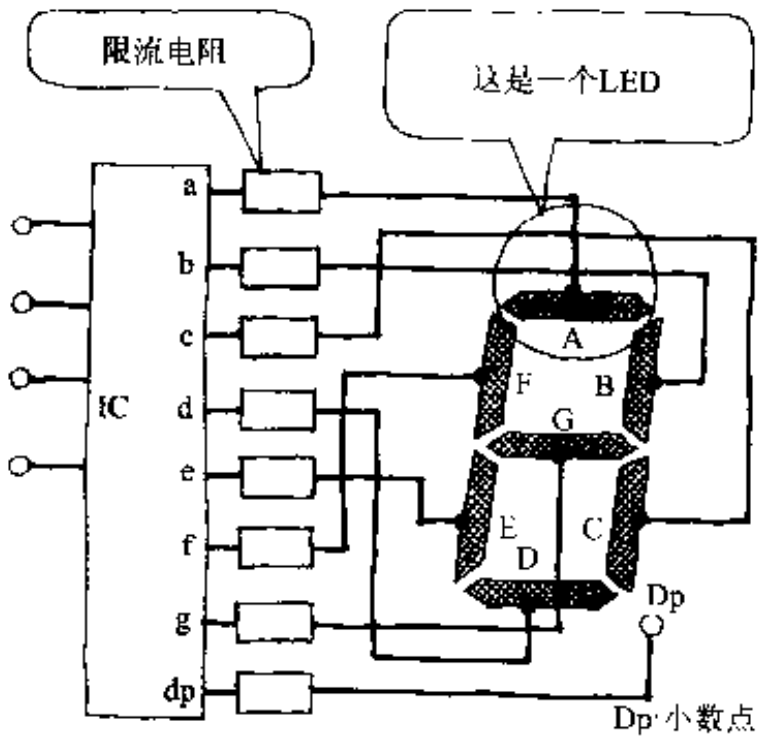


图 9　7 段元件点灯电路

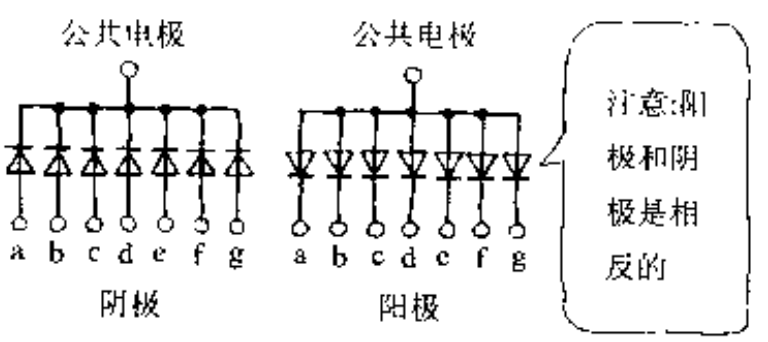
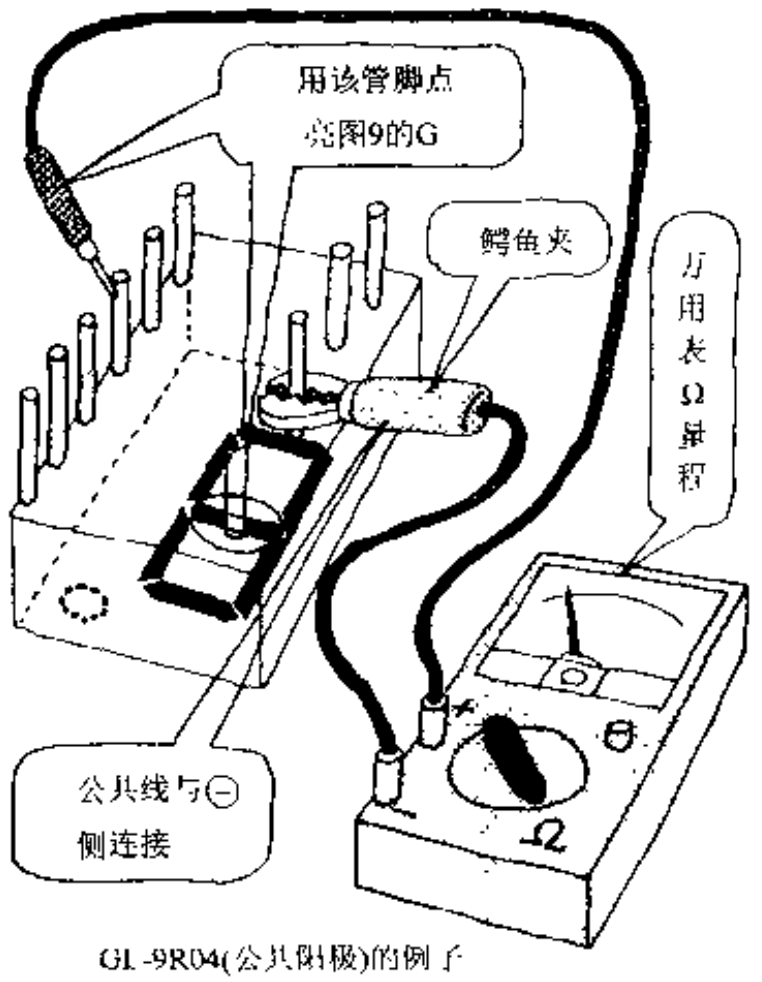


图 10　7 段元件的连线

基本上，7 段元件是 LED 的并联连接，所以当电源电压为 5V 时，限流电阻为 300Ω 左右就合适。

7段元件管脚的确认

在确认7段元件管脚与哪一个LED元件连接时，可使用万用表的Ω(电阻)量程简单地测量(参见图11)。



GL-9R04(公共阳极)的例子

图11 7段元件管脚的检查

练习题

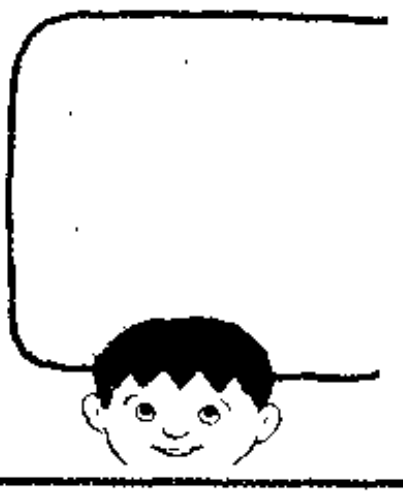
1. 在使用24V的电压使LED点灯时，需要与LED串联几欧的电阻？(设流经LED的电流为10mA)。
2. 所谓7段元件是什么？

解答

1. 2200Ω
2. 7个LED的组合，是能够表示0—9的显示元件。

7 示波器的使用方法

——用波形观察看不见的“电”



“电”是用眼睛看不到的，但是，电气信号作为波形用示波器就能够在显像管上能看到。用电压表或者万用表测量交流 100V 时，指针就能表示出有效值 100V 的大小来。但是，用万用表或电压表却不能观察如图 1 所示的电压的大小随时间变化的样子。

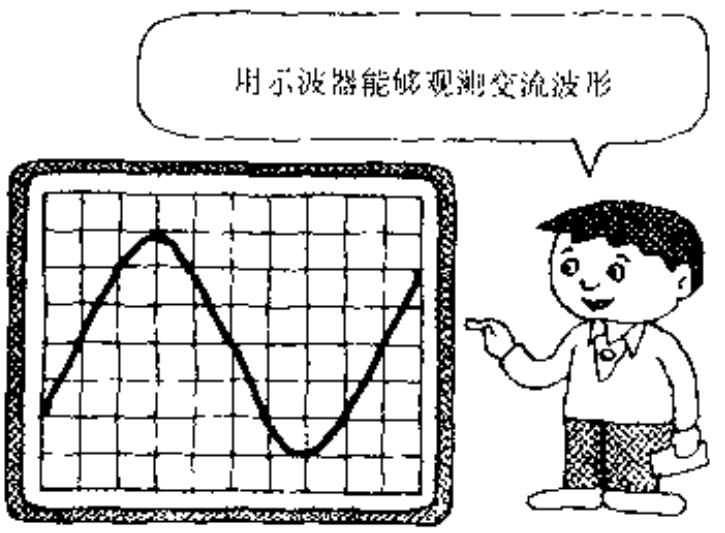


图 1　交流波形

使用示波器时，能够在阴极射线管的屏面上连续地观察交流的瞬间、瞬间的电压波形变化。阴极射线管示波器是能够将这种“电气”随时间的变化作为波形观测的测量仪器。示波器是在电子仪器的特性测量和修理、调整时，经常使用的测量仪器，可以说：如果没有示波器，就没有现在电子仪器的发展。

阴极射线管屏面的坐标轴

如图 2 所示，阴极射线管屏面的 X 轴方向表示时间、Y 轴方向表示电压的大小，瞬间的电压的大小用点（亮点）表现出来。连续的点就连成了线，电压的变化就能够作为波形观察。

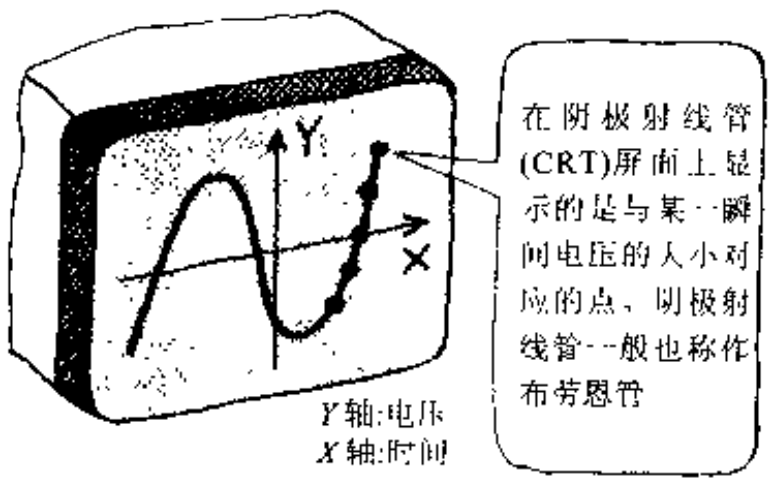


图 2　阴极射线管屏面的坐标

阴极射线管的结构

如图 3 所示，阴极射线管由电子枪部、偏转电极部、荧光屏面三部分组成。电子枪部由产生电子线（也称作电子束）的阴极，将电子线在高电压下加速的加速电极和用凸透镜将电子线聚焦的聚焦电极组成。在电子枪部放射出的高速电子线，保持原状态与荧光屏面中央部冲撞，其时产生的能量产出光（亮点，也称点）。

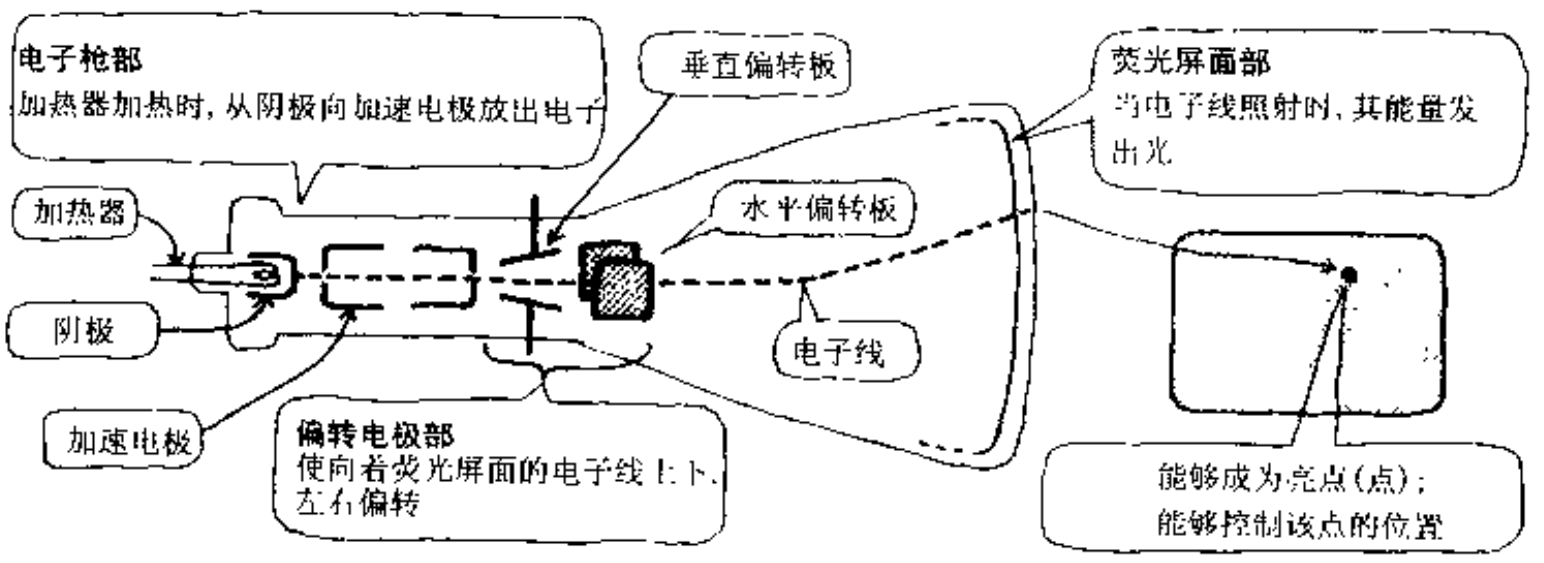


图 3　阴极射线管的结构

如图 4 所示，由于电子线具有负电荷，所以就向加在偏转电极间的直流电压的｜侧的偏转电极板侧偏移。这种偏移就称为偏转，偏转电极部就利用了这种电子偏转的性质。偏转量与施加在偏转板上的电位差（电压）成比例。

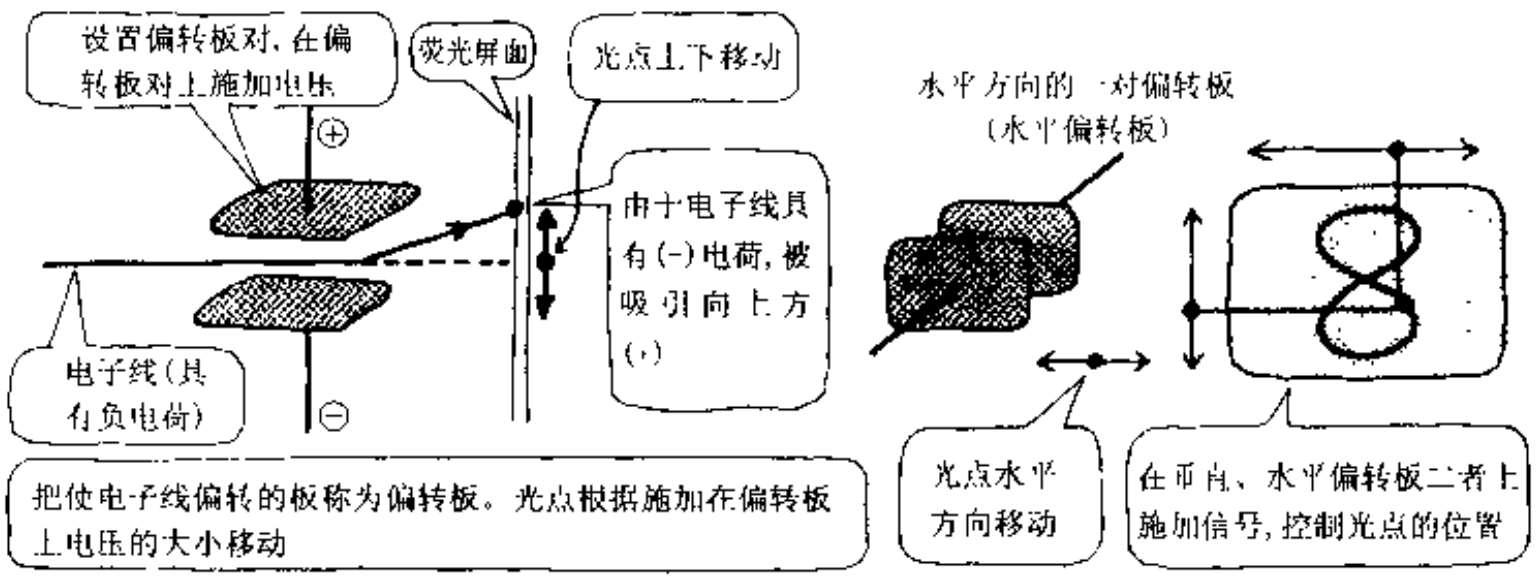


图 4　电子线的偏转和点的移动

实际的示波器中偏转板由使电子线上下（垂直）方向偏转的垂直偏转板和使电子线左右（水平）方向偏转的水平偏转板两组偏转板组成。所以，如图 5 所示，由加在各个偏转板上的直流电压改变电子线在阴极射线管屏面上的点的位置。

现在，如图 5 所示，在垂直偏转板的下侧施加｜电压，在水平偏转板的左侧施加十电压，使光点从 A 偏转向 B。在荧光屏面，当电子线与涂敷了荧光物质的玻璃面（屏幕）冲突时，就会发光。

为什么能够看到波形？

在水平偏转板上施加如图 6 所示的对时间成直线性变大的锯齿波时，亮点就在水平方向以一定的速度移动。这样，将光点沿水平方向连续地反复移动称为扫描（扫描→就像用扫帚从左到右反复地扫）。点移动单位长度需要的时间称为扫描时间。

现在，如图 7 所示，同时在垂直偏转板上施加观测信号（例如，正弦波），在水平偏转板上施加锯齿波信号时，在屏幕上则显现正弦波，能够观测它随时间变化的样子。

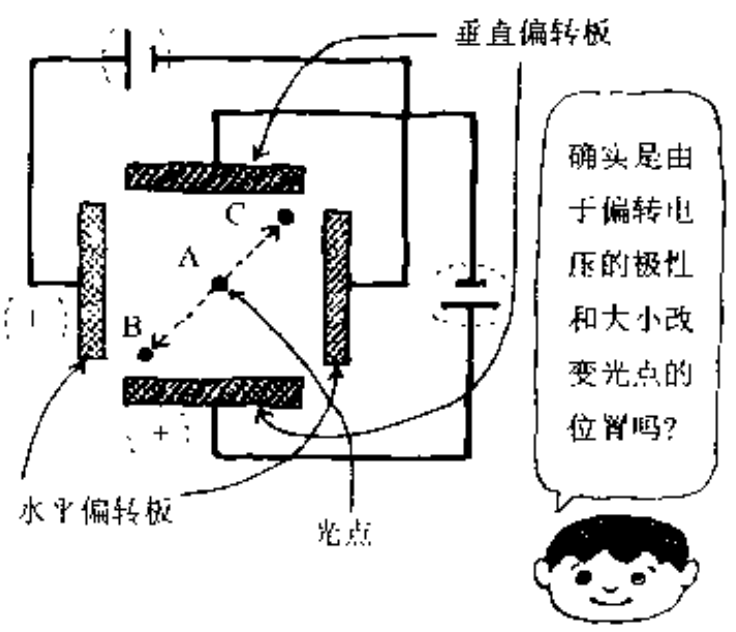


图 5　偏转电压和点的位置

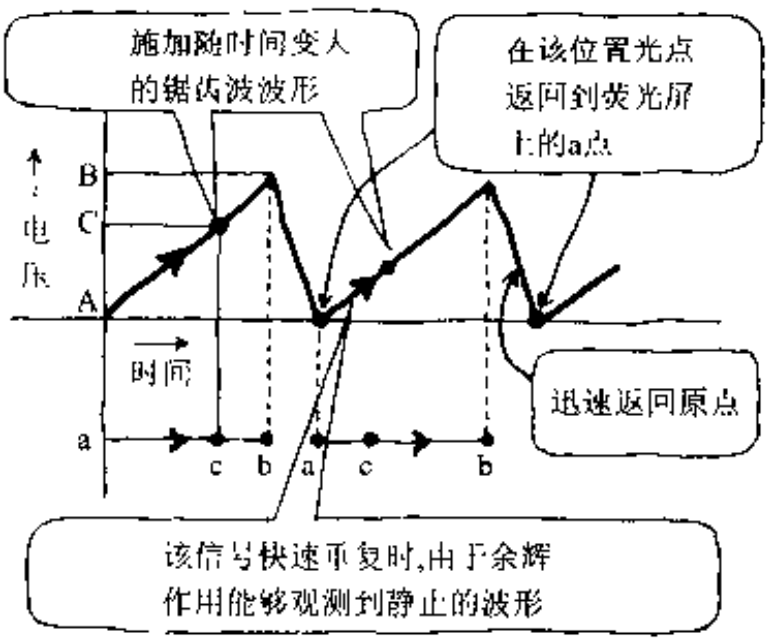


图 6　锯齿波波形

同　步

如图 8 所示，并不限定总是将欲观测的信号和锯齿波从同一位置开始。如图所示，对于锯齿波(a)，可观测到波形的重叠显示。

为使波形静止，如图 8(b)所示，必须将锯齿波与欲观测的波形从相同的位置开始(即扫描)。将该操作称为"取同步"。

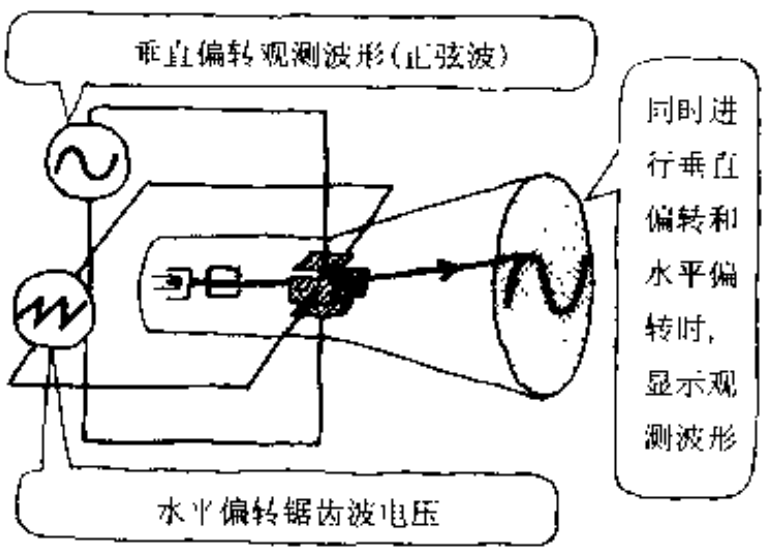


图 7　波形的观测

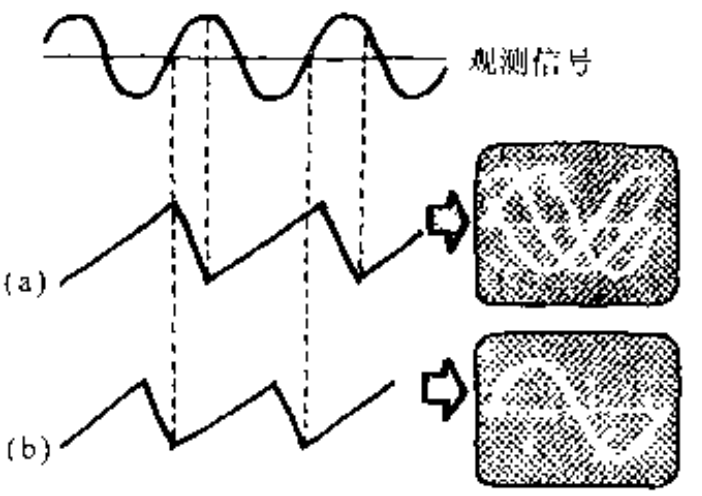


图 8　锯齿波电压和观测波形的关系

触发扫描

为了"取同步"，最好是在输入信号波形的某一规定点上将枪的"扳机"咚的一下引发，使锯齿波开始启动。这样的扫描方式称为触发扫描。在这种方式中，由于如图 9 所示那样是输入信号的一部分进入触发电路进行扫描，所以能

够取得同步。另外，通过调整触发电平可以决定从波形的哪个位置扫描。

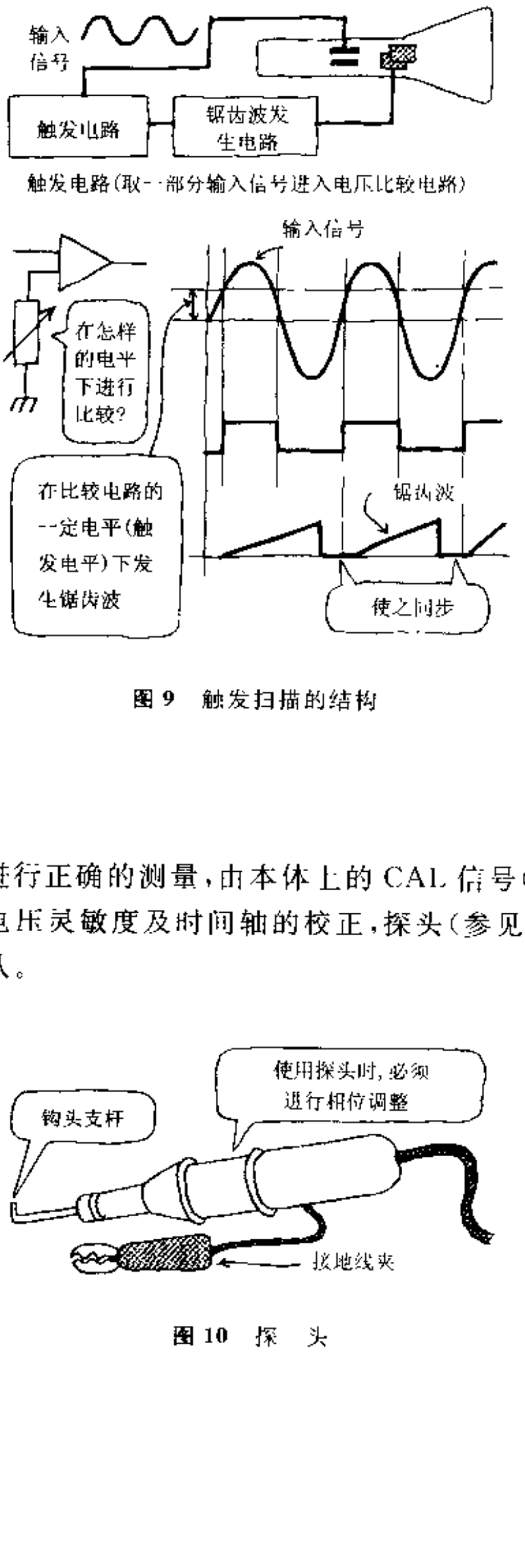


图 9　触发扫描的结构

示波器的校准

为了用示波器进行正确的测量，由本体上的 CAL 信号(校准用信号)端子输出的矩形波进行电压灵敏度及时间轴的校正，探头(参见图 10)的相位调整及示波器的工作确认。

图 10　探　头

用示波器观测波形

示波器不仅用于波形观测，也能用于测量直流和交流的电压、电流的大小。并且，由于能够测量交流波形的周期，所以就能够计算频率，即该周期的倒数。进一步，还能够描画利萨如图形测量相位差。

通过设定 V/div，将电压的显示波形的大小设定在荧光屏画宽度的60%～80%左右，容易读取振幅的大小。

在测量直流时连接到 DC 量程，测量交流时连接到 AC 量程。对于正弦波，如图 11 所示，测量 $V_{P\text{-}P}$（从峰值到峰值）时，可由下式求出有效值和最大值：

$$\text{有效值}=\frac{V_{P\text{-}P}}{2}\sqrt{2},\qquad \text{最大值}=\frac{V_{P\text{-}P}}{2}$$

从"t/div×管面上的刻度数"求出 1 个周期的时间，由下式算出频率。对于图 12 的示例，

周期 $T=8(\text{div})\times 1\text{ms/div}=8\text{ms}$

频率 $f=1/T=1/8\times 10^{-3}=125(\text{Hz})$

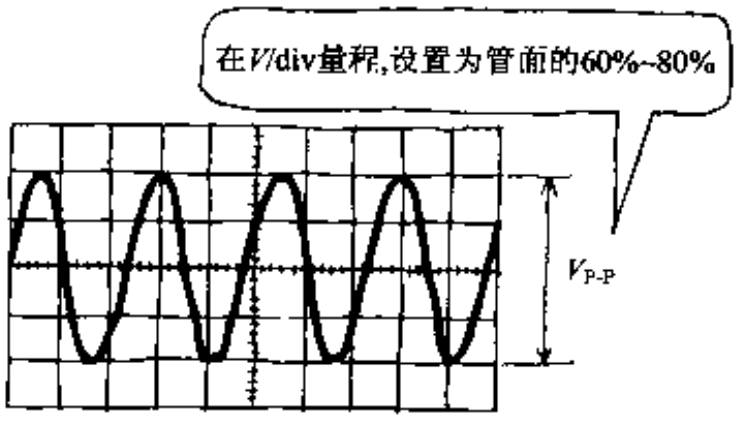


图 11 电压的测量

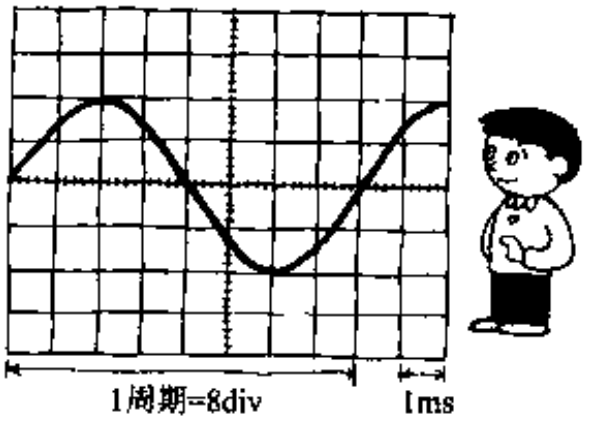


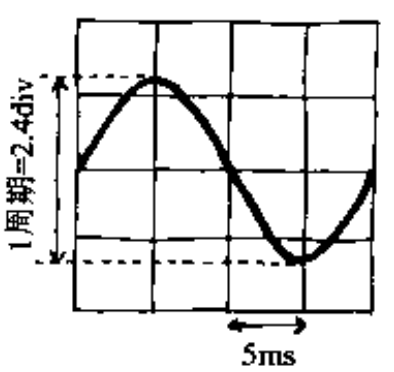
图 12 频率的测量

练习题

1. 在屏幕上显示了如图所示的交流正弦波形。

   V/div 旋钮是"10V"。　　t/div 旋钮是"5ms"。

   求电压的最大值、有效值，频率。

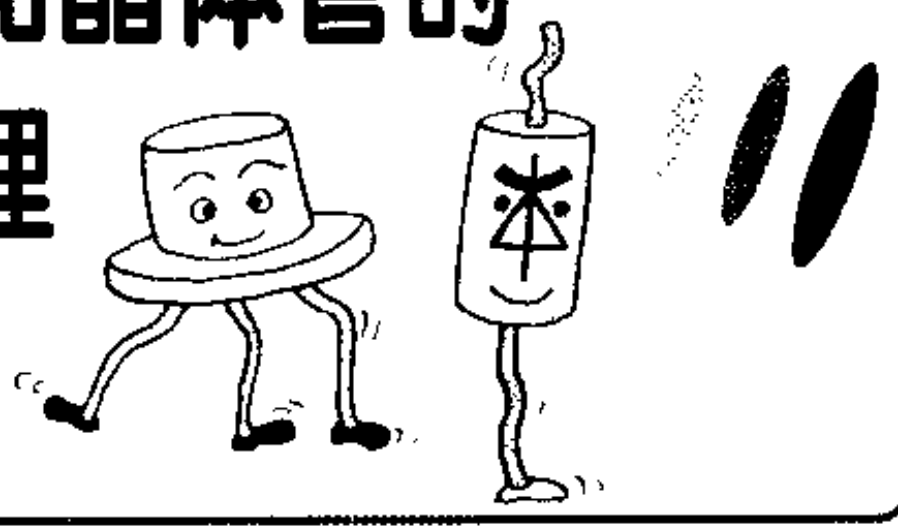


解答

1. 最大值 $2.4/2\times 10=12(\text{V})$，　　有效值 $12/\sqrt{2}=8.48(\text{V})$

   频率 $=1/5\times 4\times 10^{-3}=50(\text{Hz})$

8 二极管和晶体管的工作原理



半导体的进展

可以说，与真空管相比，小型化、寿命长的二极管和晶体管等半导体器件使电子学迅速发展，创造了今天的电子技术社会。而且，现在在一个芯片中集成几百万个晶体管等的IC(集成电路)也被开发出来。

被组合在IC中的几百万个晶体管中的每一个的基本动作都与单个晶体管相同。图1是IC的内部电路的例子。

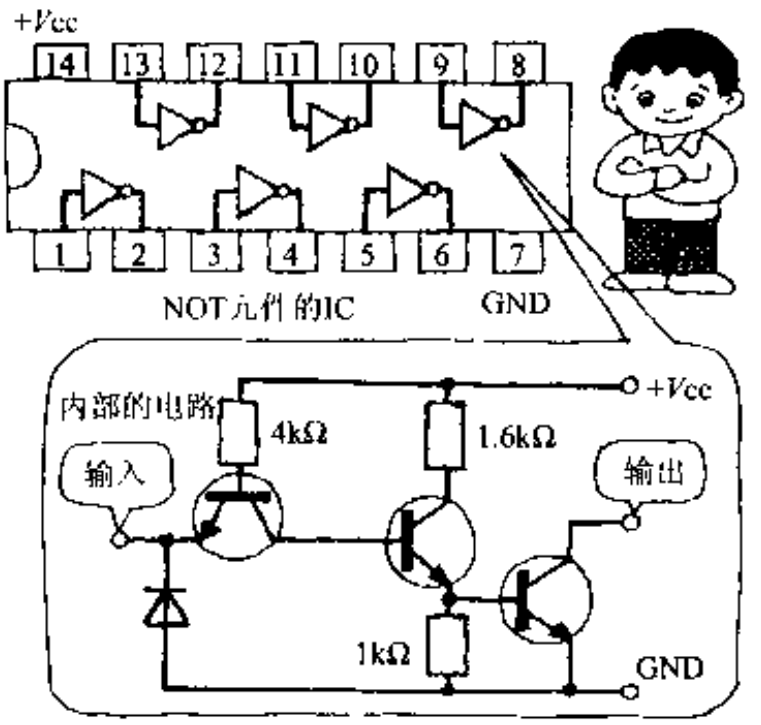


图1　IC和它的内部电路的例子

与IC化的同时，满足新用途的单个晶体管的研究开发也在迅速进展中。本节，我们将介绍构成电子电路基础的二极管和晶体管的工作原理等基础知识。

什么是半导体?

按电阻率对物质进行分类时,可分为以下几类。

导体:铜、铝等导电性好的物质。

非导体:瓷器、橡胶、胶木等难于导电的物质,也称为绝缘体。

如图 2 所示,具有在导体和绝缘体之间电阻率的物质称为半导体,有锗、硅、硒等。硅是经常使用的半导体材料。这些半导体具有温度升高时电阻大幅减小的性质(金属等温度升高时电阻变大)。代表性的半导体硅虽然被制作成 99.999 999 999 9%,是 12 个 9 并列那样的高纯度,但是,由于微量杂质的混入会使电阻率产生很大的变化。这样,半导体具有对外来影响敏感的性质。

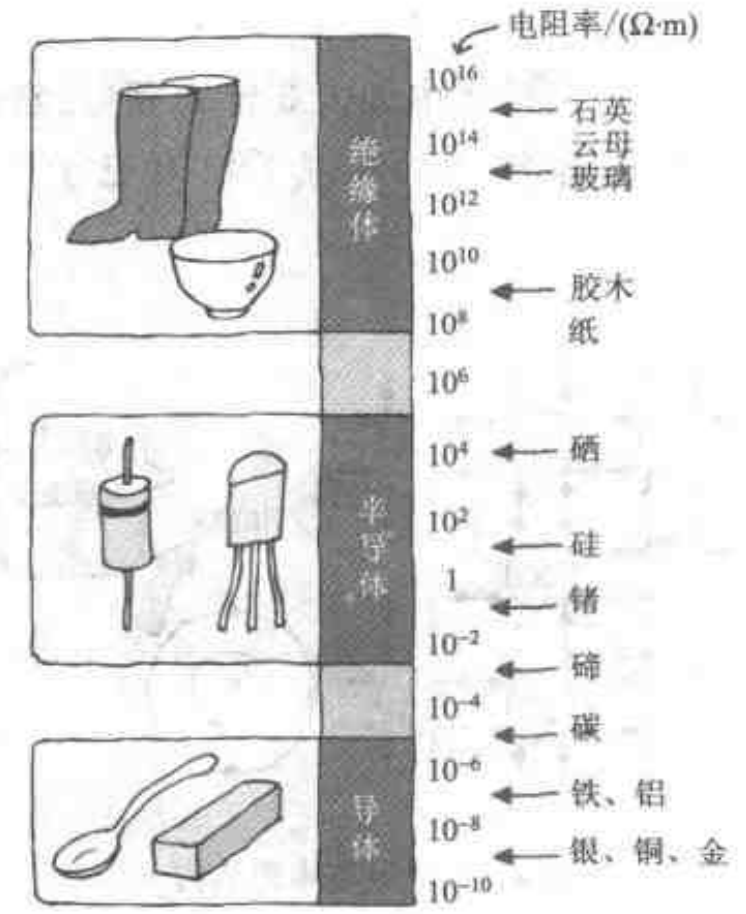


图 2　导体、半导体、绝缘体

N 型半导体

如图 3 所示,在纯度高的 4 价硅(元素符号 Si)中加入极少一点 5 价的砷(元素符号 As),在半导体内部就多出一个自由电子。就是说,由于添加了 As 就制造了传送“电气”的自由电子。所以,就成为电流容易流动的半导体了。

这种情况下,多余的电子就成了“电”的传送者。将这种传送者称为载流子。如图 3 所示,“负”(negative)的电子成为载流子的半导体称为 N 型半导体。

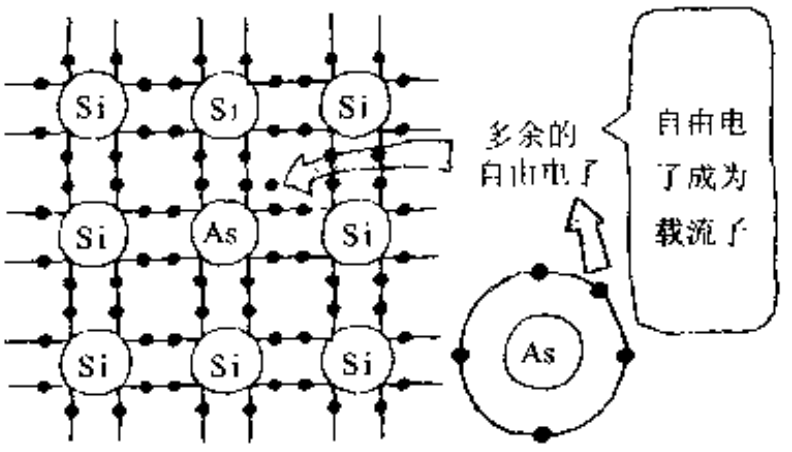


图 3　N 型半导体的结构

P 型半导体

如图 4 所示，在 Si(4 价)半导体中加入 3 价的硼(元素符号 B)时，由于 B 缺少一个电子，在与 Si 结合的部分上就产生了没有电子的“孔”(空穴，也称为 hole)。

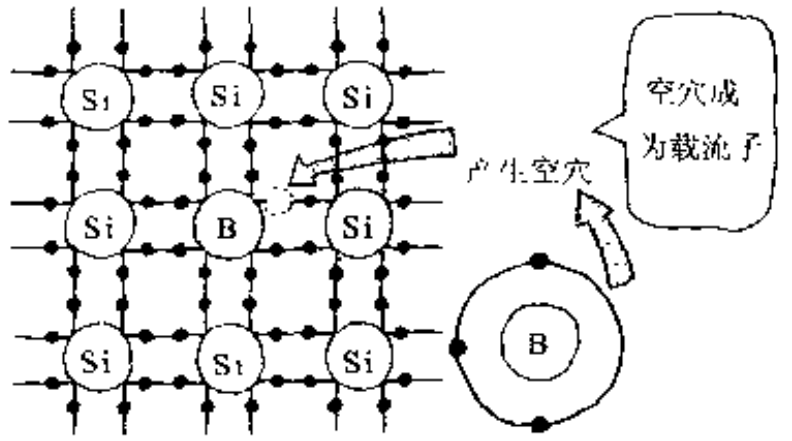


图 4　P 型半导体的结构

一般地说，由于半导体原子间的连结较弱，总是在寻找着能够移动的场所(空穴)和机会。

由于 3 价的杂质在半导体内部产生空穴，因此，接连不断地空穴移动就会产生如图 5 所示的电子移动，这样，电流就流动起来。注意，空穴的移动与电子移动的方向相反(被引向(－)极)。

所谓的空穴是带有正(positive)电的意思，这样，以空穴作为载流子的半导体称为 P 型半导体。

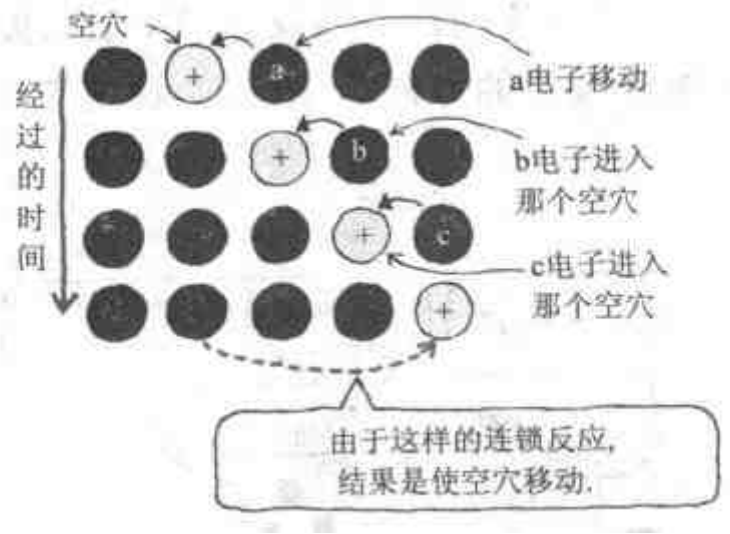


图 5 空穴的移动

PN 结二极管

如图 6 所示，将 P 型半导体和 N 型半导体邻接制成的东西称为 PN 结半导体。虽然在 P 型半导体中存在空穴载流子、在 N 型半导体中存在自由电子载流子，但是，当不施加电压时，载流子就不能超越 PN 结面存在的势垒，不能结合一起。其次，如图 7 所示，在 N 型区施加“＋”电压在 P 型区施加“－”的电压，N 型区内的载流子电子被吸引向“＋”，P 型区内的载流子空穴被吸引向“－”。电子和空穴不能通过 PN 结面时，电流就不能流通。

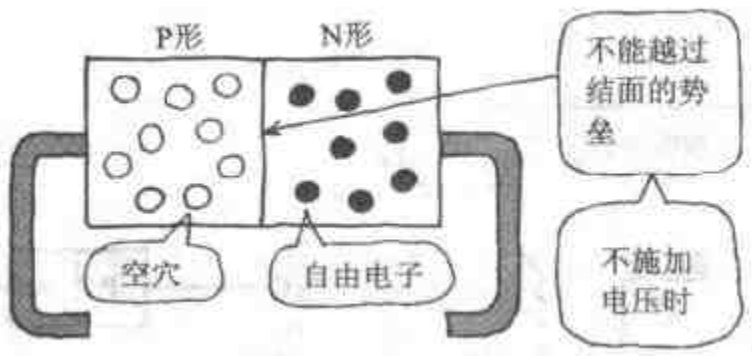


图 6 PN 结半导体

另外，如图 8 所示，在 P 型上施加“＋”电压、在 N 型上施加“－”电压试试看。这时，P 型半导体的空穴被吸引向负极，N 型半导体的电子被吸引向正极。由此，各自的载流子空穴和电子都跨越结面的势垒相互进入对方的区域。这样，电流就流通，电灯就点亮。

由此，我们可以明白：当在 P 型半导体上施加“＋”电压、在 N 型半导体上施加“－”电压时，就产生载流子的移动，电流就流动。

这样的 PN 结半导体由于施加电压方向（极性）不同，显示出不同的电学性

质。利用这种电流沿一个方向流动性质的就是 PN 结二极管。通常，简称为二极管。在二极管中，称电流流通的方向为正方向，称电流不流通的方向为反方向。

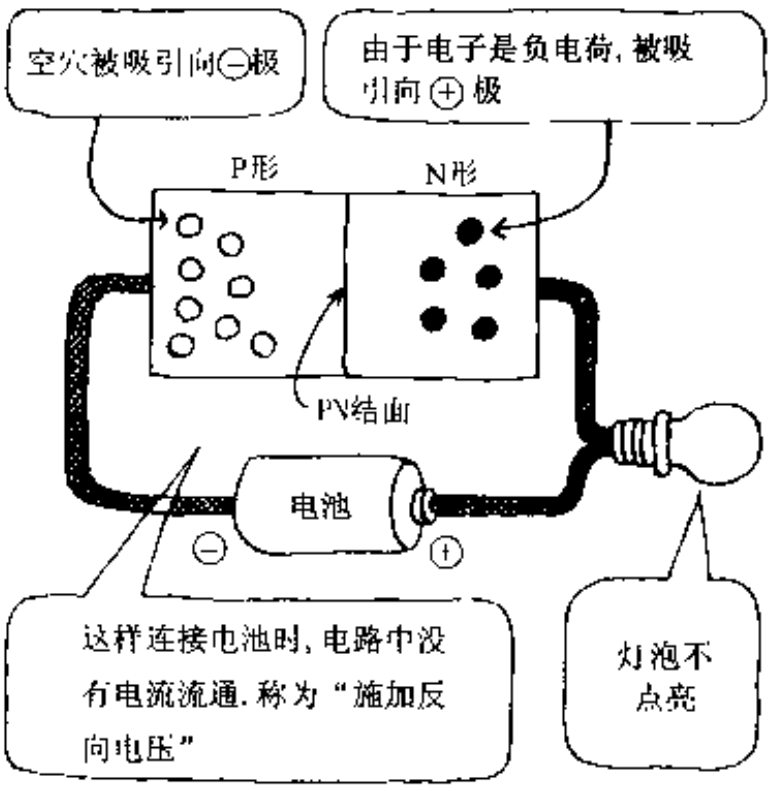


图 7　PN 结半导体和反向电压

图 9 是二极管的图形符号和电极的表示。图形符号的箭头方向表示电流的流动方向（正方向）。

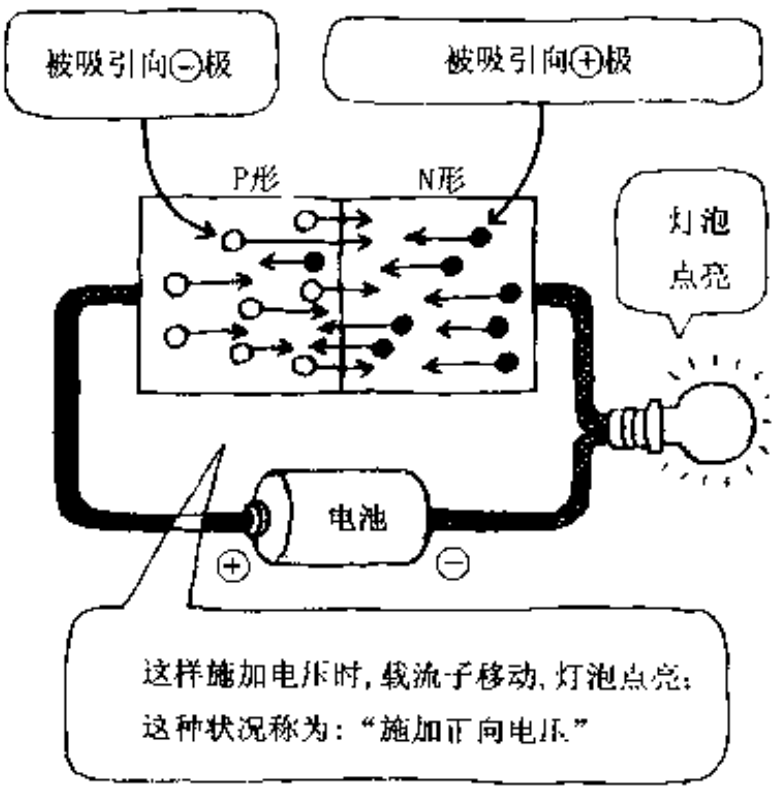


图 8　PN 结半导体和正向电压

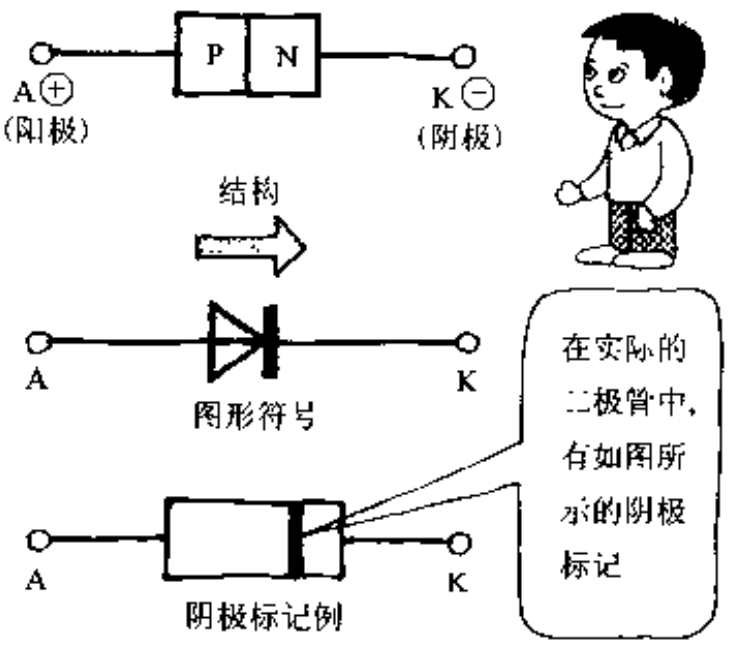


图 9　二极管的表示方法

晶体管的结构

下面，我们要介绍晶体管了。基本上说，它是在迄今我们已介绍过的二极管的 PN 结上再组合上 P 型或者 N 型半导体形成“三明治”样的东西，如图 10 所示，晶体管有 NPN 型和 PNP 型。

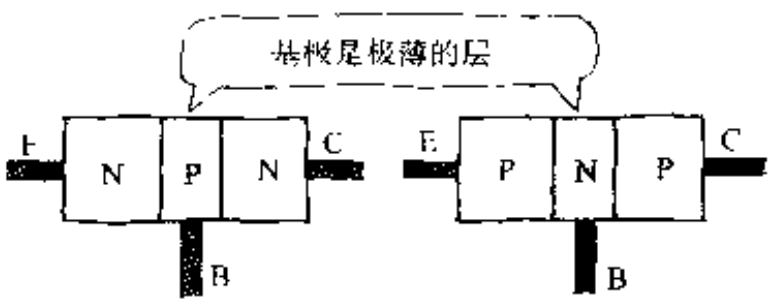


图 10　晶体管的结构

（要点）

半导体在英语中是 semiconductor。conductor 是导体的意思，semi 是一半的意思。按照文字的意思，合起来就是半导体。IS 1588（二极管的一种）、2SC 1815（晶体管的一种）中的 S 就是半导体的英文单词的第 1 个字母。

不管哪种类型的晶体管，它的中央层都称为基极（符号 B），被制作成数微米（μm）的极薄的一层。而且，夹持着基极，它的一方称为发射极（符号 E），另一方称为集电极（符号 C）。

NPN 型晶体管

如图 11 所示，在 B、E 间施加正向电压 E_B（V）时，虽然发射极内的一部分电子与基极的空穴结合，由于基极极薄、又在 BC 结面上施加了更高的“+”电压，因此，发射极内的电子几乎都流进了集电极。由此，可从集电极向发射极流进很大的电流。

PNP 型晶体管

如图 12 所示，PNP 型晶体管的原理也一样。在发射极-基极间施加电压 E_B（V），由于与 NPN 型同样的理由，发射极内的空穴移动到集电极内。空穴成为载流子，电流从发射极流向集电极。在向二极管和晶体管等半导体上连接电源时，要注意极性。

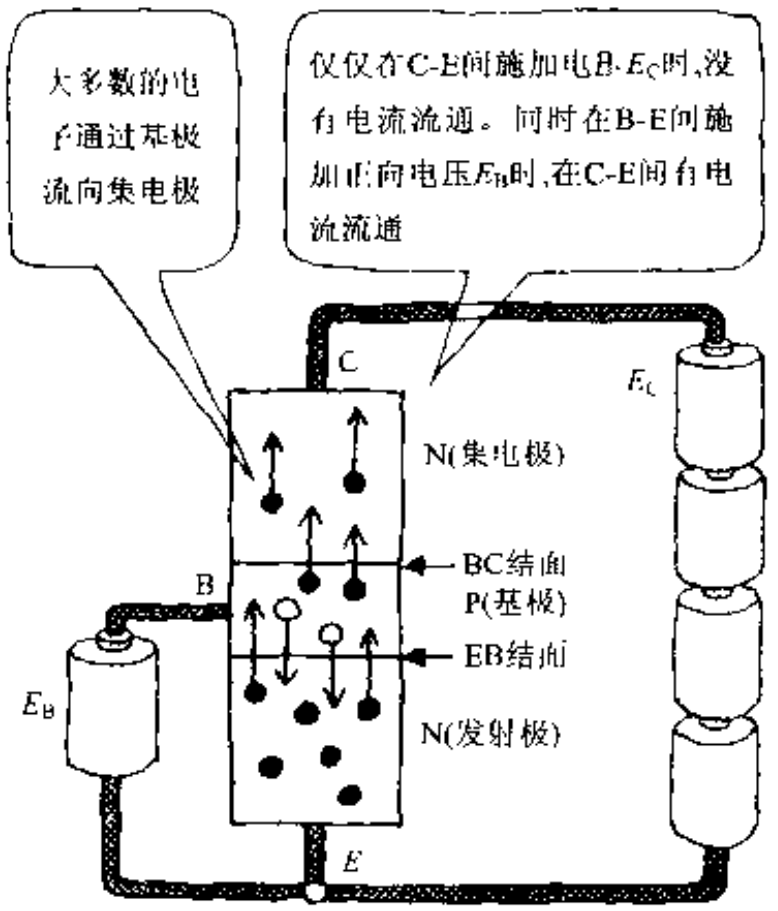


图 11　NPN 型晶体管和正向电压

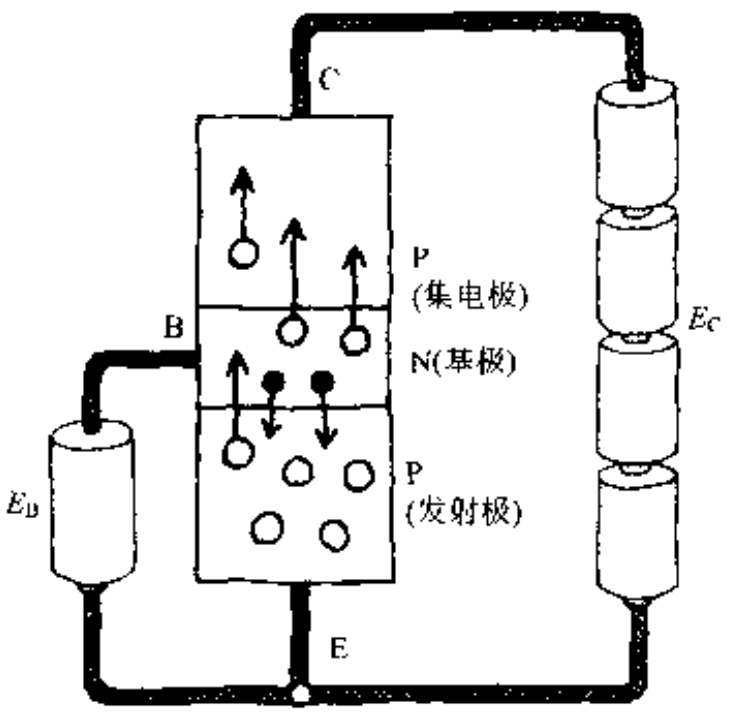
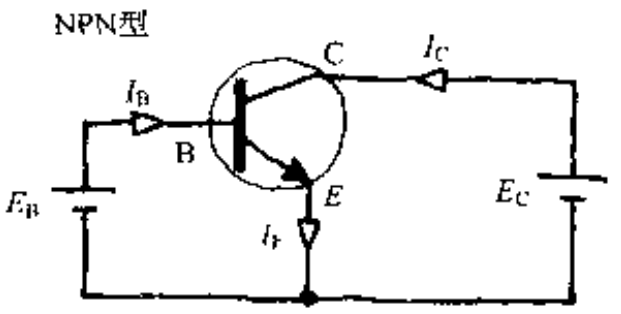


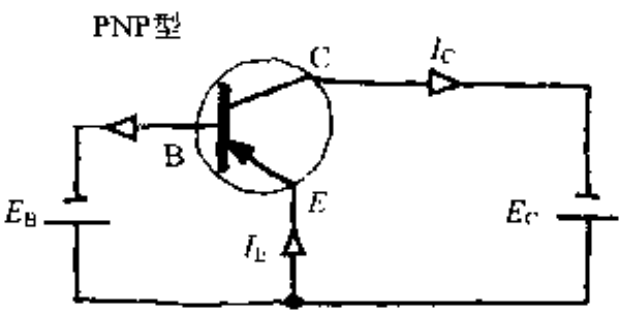
图 12　PNP 型晶体管和正向电压

练习题

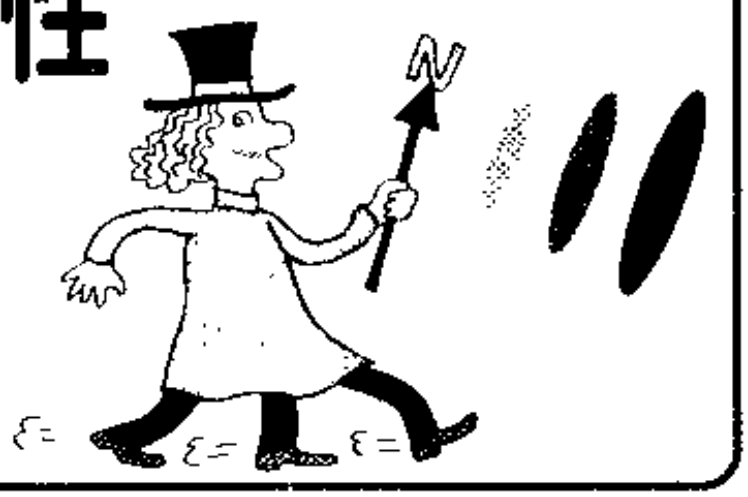
1. 晶体管有 NPN 型和 PNP 型两类。复习一下它们各自的图形符号，用图形符号将本文中的图 11 和图 12 画成电路图。

解答





9 晶体管的特性



3个管脚和晶体管的结构

图1示出晶体管的代表性的形状。毫无疑问，被称为“3条腿的魔术师”的晶体管的3个管脚是3个端子。3个端子的名称是：发射极E(Emitter)，集电极C((Collector)，基极B(Base)。

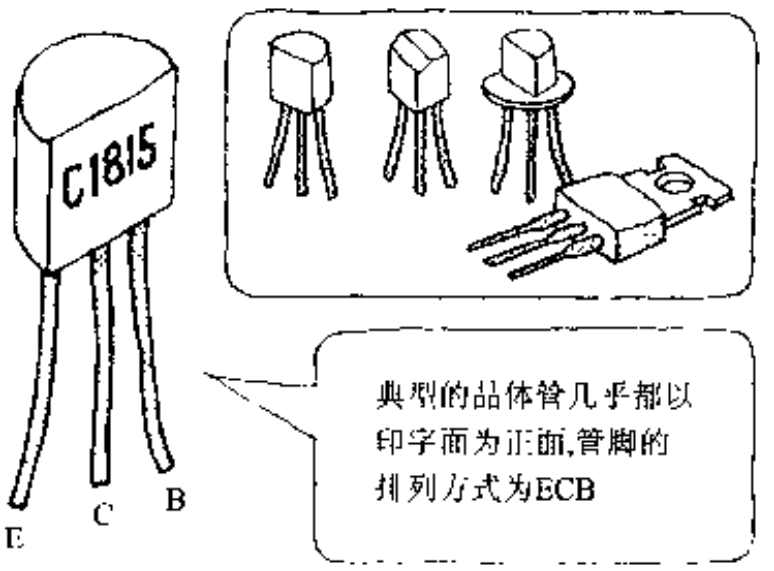


图1　各种晶体管和端子名

所谓“发射极”，具有发生电子、光、热等，以及放出、注入的意思，“集电极”是与收集邮票一样，具有收集的意思，“基极”的由来是因为晶体管的发明者最初实验制作的晶体管如图2所示，在一个台(基极)上插入发射极，集电极端子而制成的，所以这个电极称为基极。

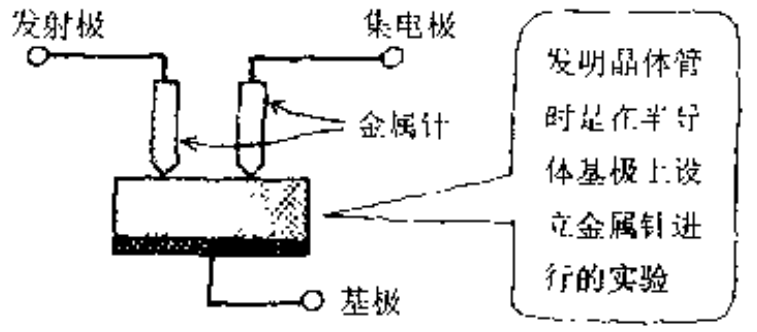


图 2 最初的晶体管

晶体管的结构如图 3 所示，有 NPN 型和 PNP 型 2 种类型。不管哪种类型都是基极在中央，左右是发射极、集电极。晶体管图形符号中发射极上的箭头方向表示电流的方向。

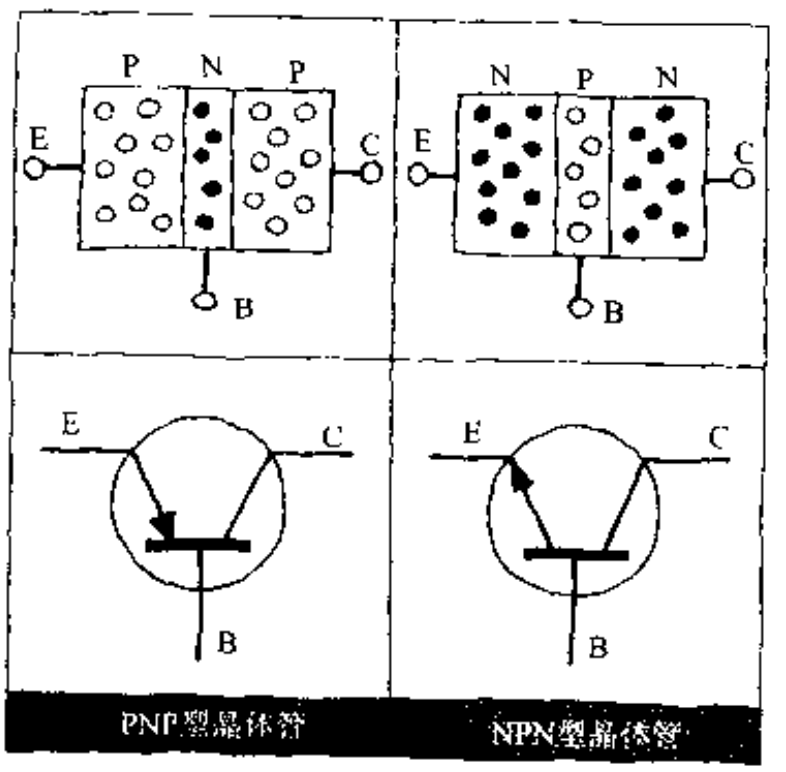


图 3 晶体管的种类

我们来分析一下图 3 中的基极和发射极之间，它们之间是一个 PN 结二极管，在它的正方向上附有表示电流流动方向的箭头。当弄不清楚电路图中哪个是 NPN 晶体管或是 PNP 晶体管的时候，只要记住如图 4 所示，发射极的箭头与地图上表示东西南北的北(N)的箭头相同，晶体管中箭头的方向也是指向 N 极。

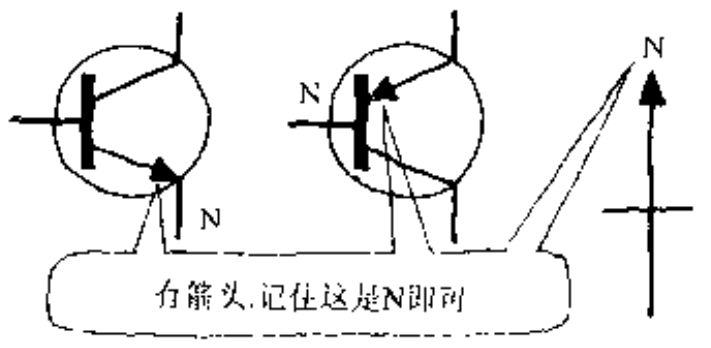
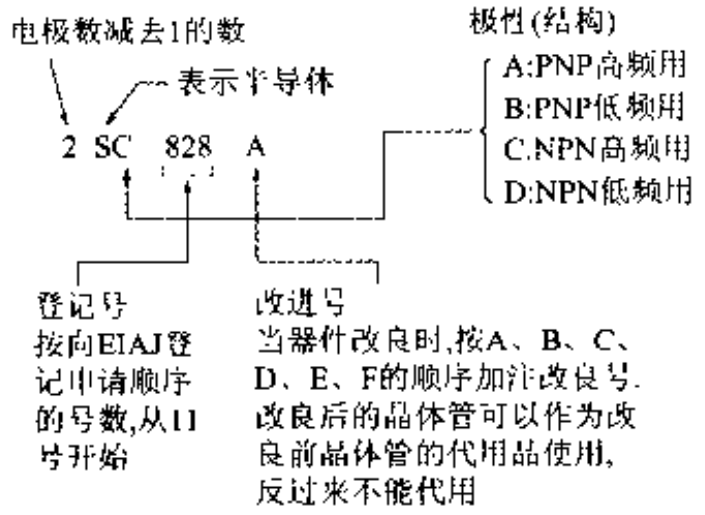


图 4 发射极的箭头方向

晶体管的命名

晶体管的名称根据 JIS(日本工业标准)决定[1]。一般称之为 EIAJ 型名。EIAJ 是日本电子机械工业协会的英文拼法的第 1 个字母。

〔例〕



晶体管的放大作用

晶体管具有图 5 所示的将小的信号变成大的输出传送的放大作用。这是晶体管元件的一大特征。对于这种放大,基本上需要如图 6 所示的输入侧和输出侧的 4 个端子。但是,因为晶体管只有 3 个端子,如图 7 所示,有 1 个端子共同使用。并根据该公共端子的名字分别命名相应电路为发射极接地电路、基极接地电路、集电极接地电路。在三种接地方式中最常用的是发射极接地电路。其理由是这种电路使用比较容易,能够得到最大的放大作用。

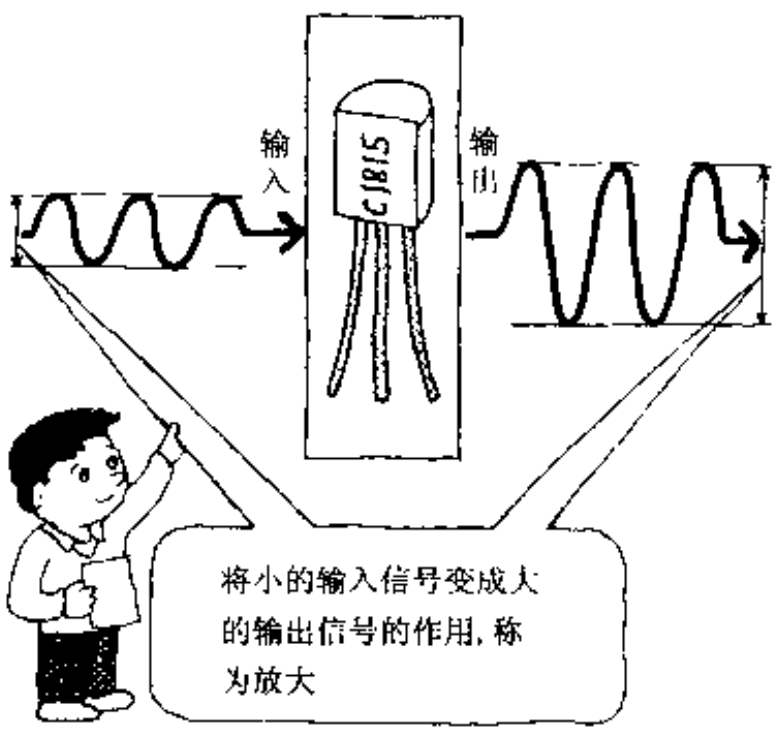


图 5 放大作用

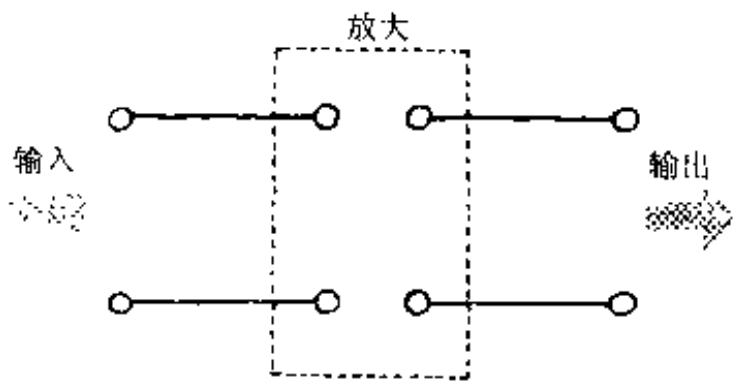


图 6 放大的 4 端子

1) 这是日本对晶体管的命名方法。仅供读者参考。——译者注

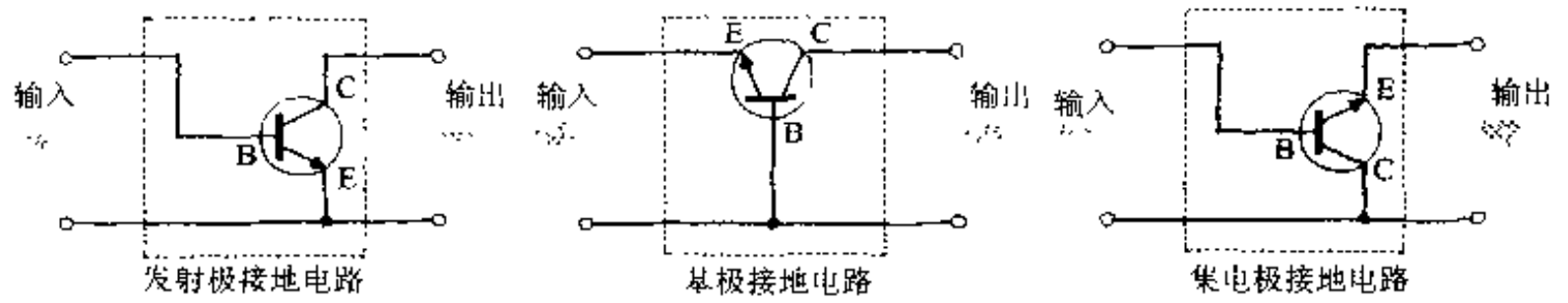


图 7　晶体管的接地电路

晶体管的电流

下面我们来分析在晶体管各电极上流通的电流。在晶体管的图形符号中带有箭头的电极是发射极，而且，由于该箭头的方向也表示晶体管中电流的流动方向，如图 8 可以决定流经各电极的电流。图中各符号的意义如下：

I_B：流经基极的电流（基极电流）

I_C：流经集电极的电流（集电极电流）

I_E：流经发射极的电流（发射极电流）

NPN 型晶体管中，集电极电流和基极电流流入，成为发射极电流，从发射极端子输出。PNP 型晶体管中，从发射极流入发射极电流，从基极和集电极输出。由图可知，在 NPN 型和 PNP 型晶体管中电流的方向相反。I_B，I_C，I_E 被晶体管分流，在它们之间适用基尔霍夫第 1 定律，结果如图 9 所示。

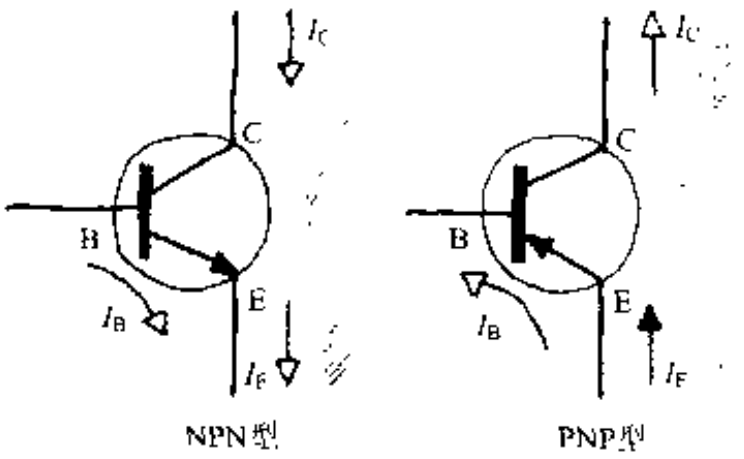


图 8　流经晶体管各电极的电流

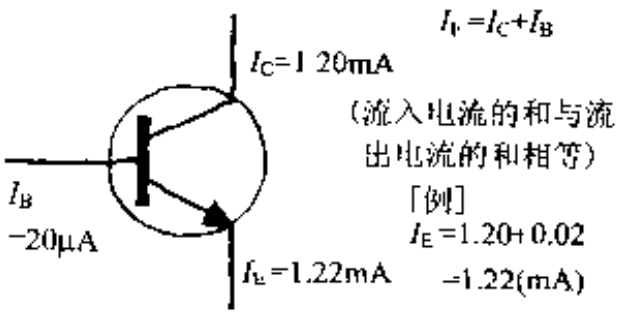


图 9　流经各电极的电流的大小

如上述例子所示，由基极电流和集电极电流的大小能够通过计算求出从发射极端子输出的发射极电流。

直流电流放大系数 h_{FE}

晶体管能够用小的基极电流来控制大的集电极电流。现在，如图 9 所示，

当设定在基极上流过 $20\mu A=0.02mA$ 的电流时，在集电极上流过 1.2mA。这时，因为 $1.2\div0.02=60$，即，能够将基极电流放大 60 倍。这样，将对应于基极电流流过多少倍的集电极电流的比率称为直流电流放大率 h_{FE}。

$$h_{FE}=I_C/I_B \blacktriangleright I_C=h_{FE}\cdot I_B$$

例如，当晶体管的 $h_{FE}=100$，流过的 $I_B=10\mu A=0.01mA$ 时，使用该式则可计算出流过集电极的电流为

$$I_C=100\times0.01=1(mA)$$

〈要点〉

h_{FE}和 h_{fe}的区别

h_{fe}是与直流电流放大率 h_{FE}相似的符号，用来表示电流发生微小变化时的小信号电流放大率(也称为对交流的电流放大率)：

$$h_{fe}=\Delta I_C/\Delta I_B$$

基极电压和集电极电流

在图 10 所示的电路中，当基极-发射极间的电压 V_{BE}(V)渐渐上升，直到 0.6V 为止，几乎没有基极电流 I_B 流通。当 V_{BE}(V)一旦超过 0.6V，I_B 就急剧上升。由于基极电流 I_B 的流通，集电极电流 I_C 也应该流通，当 V_{BE}大于 0.6V 左右时，如图 11 所示，集电极电流就急剧的上升。I_C 增加到 E_C/R 值时成为饱和状态，不再向上增加。

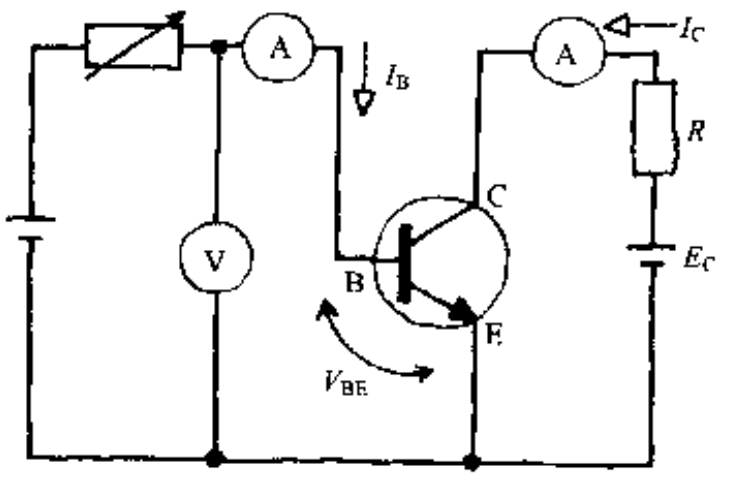


图 10 I_C-V_B 测量电路

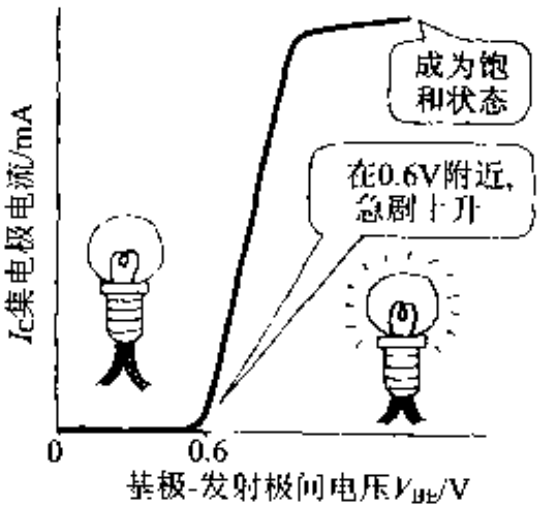


图 11 晶体管的工作电压

开关工作

为使集电极电流流通，使晶体管处于正常工作状态，基极电压必须在 0.6～0.7V 左右。基极电压在 0.5V 时集电极电流就不流通。这种情况下，从集电极侧（负载）看时，由于晶体管的基极电压值在 0.6V 左右，如图 12 所示，晶体管对负载作开关动作。这样，晶体管就能够作为开关元件使用。

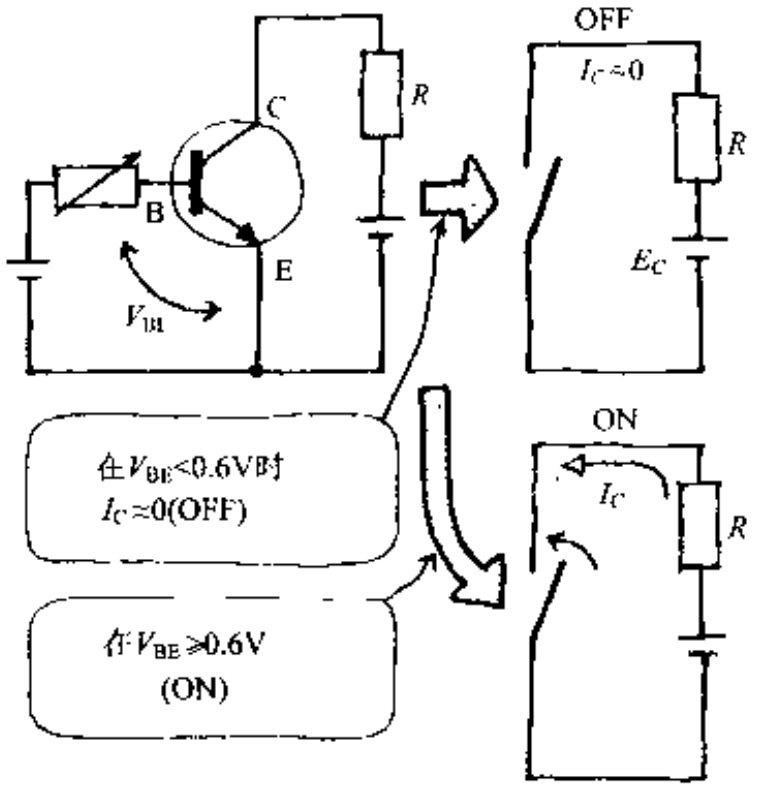
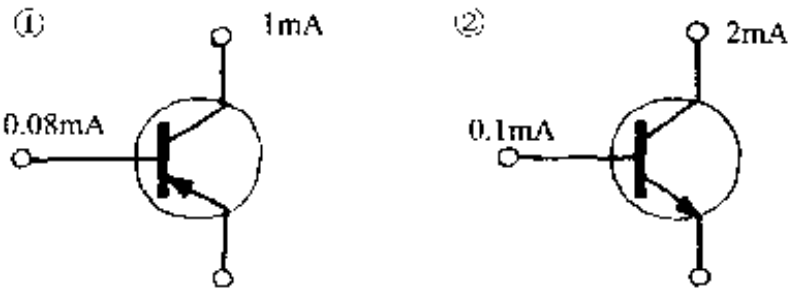


图 12　开关工作

练习题

1. 举出晶体管接地的种类。请举出其中放大作用最大的接地电路的种类。

2. 请示出在图示的电路中，发射极电流 I_E 的大小及电流的方向。

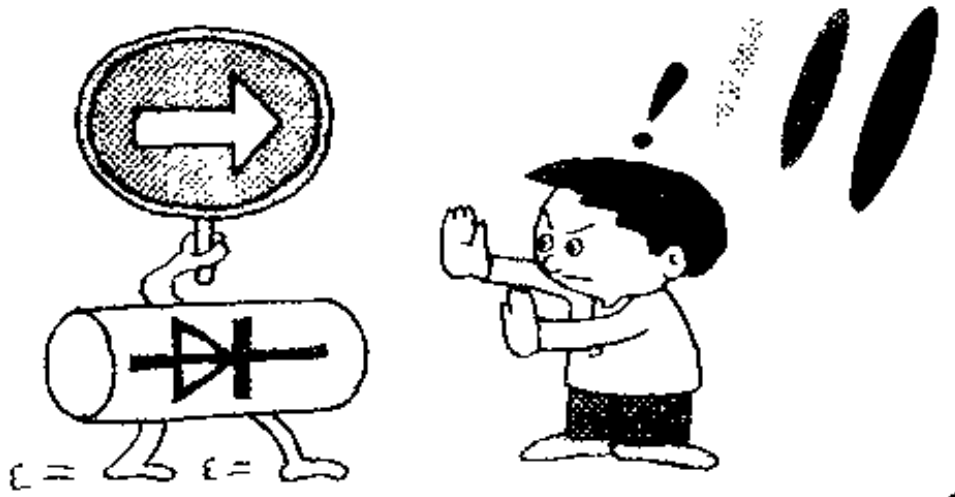


解答

1. ①发射极接地、集电极接地、基极接地　②发射极接地。

2. ① 1.08mA　②2.1mA 电流方向是发射极箭头的方向。

10 电源整流电路的结构



电子电路在直流电源下工作

“有电源吗?”、“电源的容量够吗?”、“电源爆炸了!”……常常出现的这些句子中的“电源”一词究竟是什么?像它的名字一样,电源是电气之源,就是说,它是电力的供给源。没有电源,电气设备和电子设备都不能工作。

电源大体分为交流电源和直流电源两类。

为了使组合了晶体管、IC 等的电子电路工作,必须有直流电源。在直流电源中最贴近我们生活的是电池。电池作为晶体管收音机、CD 播放器、玩具手表等消耗功率小、便于携带的电源非常便利,它的种类也很多,有各种各样的电池在使用着。

但是,在消耗功率大的控制机器和长时间使用的机器中电池的消耗剧增,并且,从因电池的消耗引起的电动势下降问题,为了更换电池所需费用等方面来看,电池是没有益处的。因此,一般说,有必要把家庭用电灯线的交流电源电压整流制作成直流电压。称这样将交流电压变换成直流电压的电路为整流电路。图 1 示出整流电路的结构。收录两用机等的电源适配器的内部也组装了基本相同的电路。下面,让我们分析一下各自的电路。

变压电路的结构

变压电路用变压器将交流电压 v_1(V)变压成能够得到期望大小的直流电压 V_0(V)的交流电压 v_2(V)。

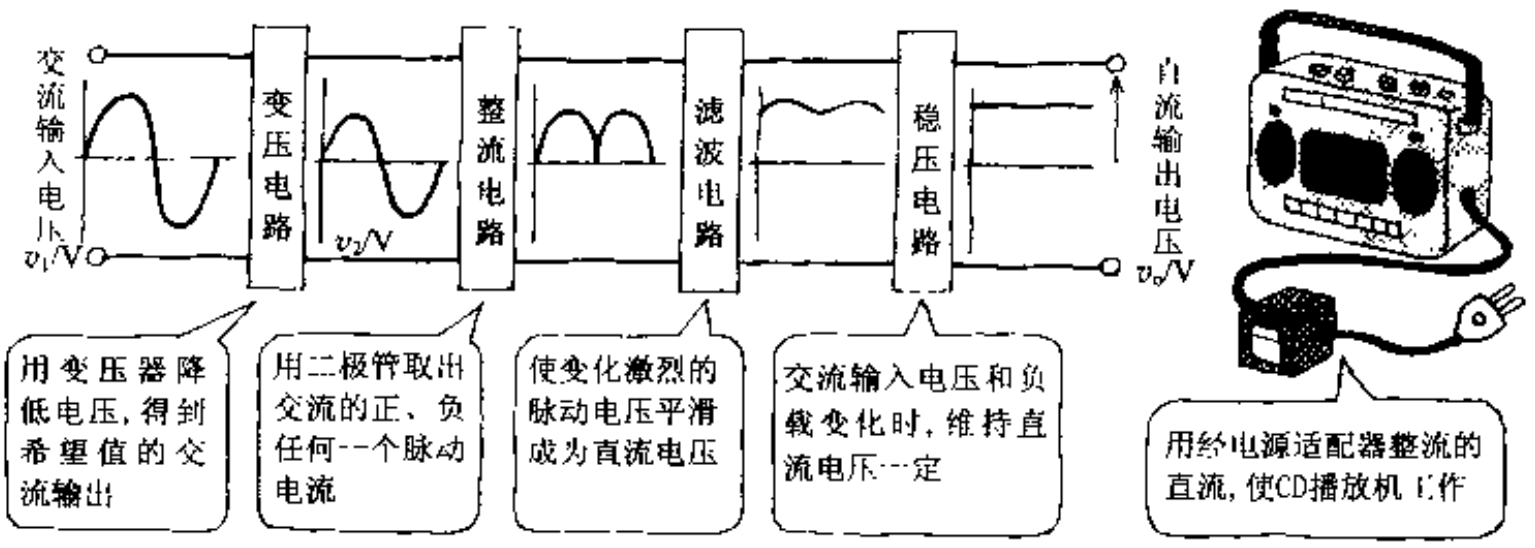


图 1　整流电路的结构

变压器的结构如图 2 所示。可见，由初级侧、次级侧线圈的圈数比能够设定电压。由于线圈的电阻使电压下降，因此，对于实际的线圈圈数比，总是将次级侧的圈数稍稍多缠绕些圈，以便即使在次级侧流过额定电流的时候，在次级侧也能够输出额定的电压，在如图 3 所示的变压器的初级侧和次级侧用示波器观察交流波形时，得到的结果则如图 4、图 5 所示。从示波器的屏面上能够观测

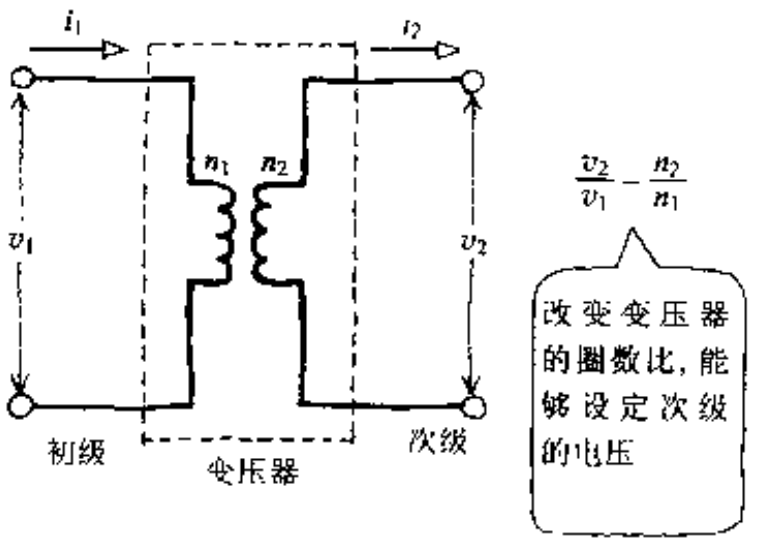


图 2　变压器的结构

到，在初级侧，交流正弦波形中的最大值是有效值（100V）的$\sqrt{2}$倍。这样，由于我们称之为交流 100V 的是有效值，因此，在考虑晶体管、二极管等的电路元器件的耐压时，有必要也考虑最大值、峰-峰值（从瞬时值的正的最大值到负的最大值的振幅）。

现在，观察时间轴，1 格是 5ms，由于 1 个周期观察 4 个格，1 个周期就为 20ms。由于频率是 1 个周期的时间的倒数，所以能够确认，频率是 50Hz。

图 5 是将次级侧的输出电压设为 8V 时在示波器的屏面上的波形。与初级侧相同，最大值为次级侧电压的有效值的$\sqrt{2}$倍。

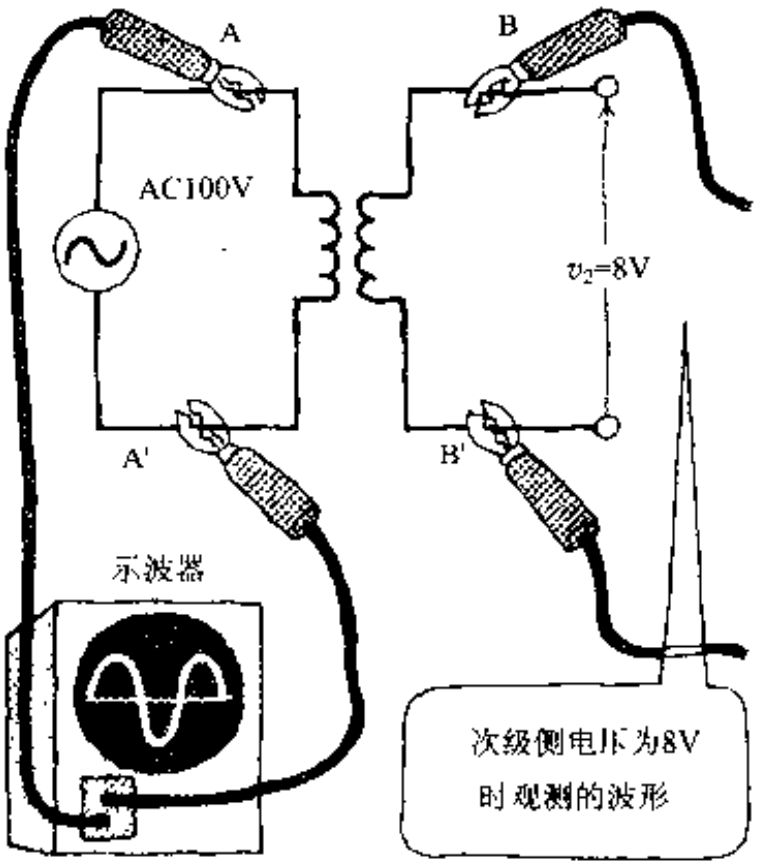


图 3　输入波形观测

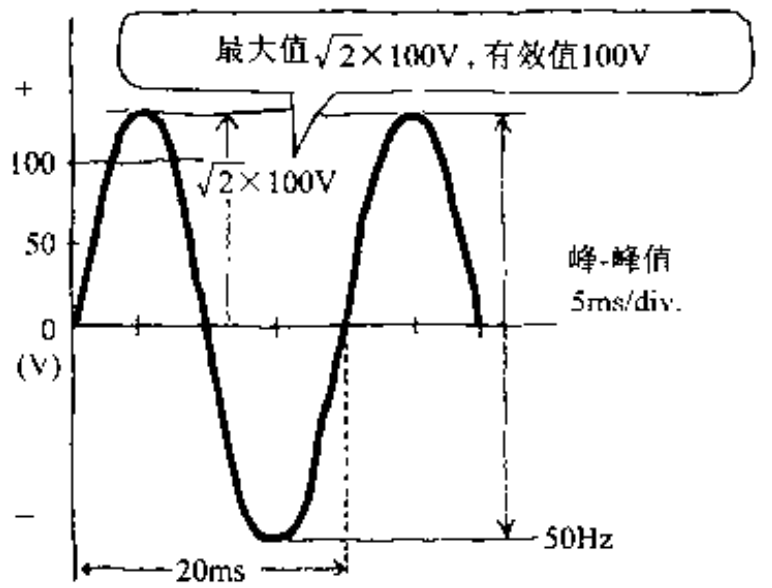


图 4　输入波形（初级）

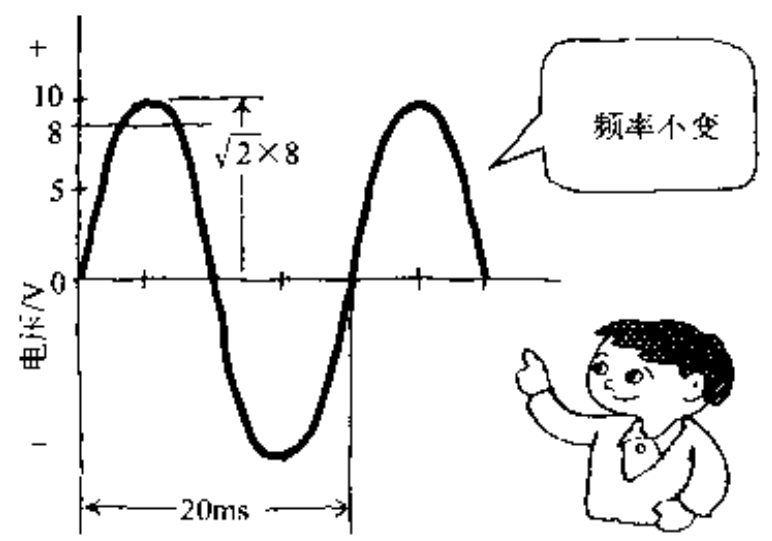


图 5　输出波形（次级侧）

需要注意的是，即使经过变压，交流的频率也不变。

整流电路的结构

从交流得到直流的电路称为整流电路。代表性的整流方式有半波整流和全波整流两种。无论哪种方式都是使用二极管所具有的如图 6 所示的“电流单方向流通”的技术。

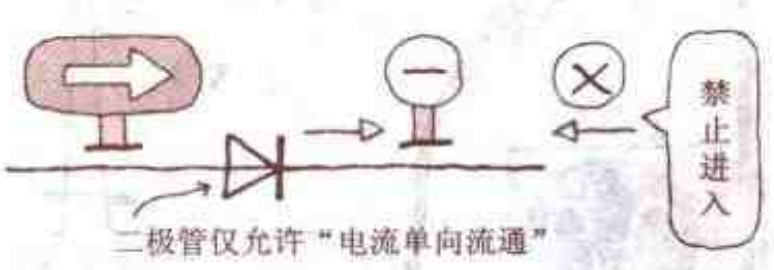


图 6　二极管的特性

(1) 半波整流方式

这是一种仅取出交流的正半周或者负半周，将其变为直流的方式。如图 7 所示，将二极管连接后，由变压器变压的交流中仅有半个周期的正方向电流流过负载电阻。因此，由于在其后的半个周期对二极管成为反向，在负载电阻 R 上没有电流流过。这样，在示波器上就可观察到图 8 所示的波形。

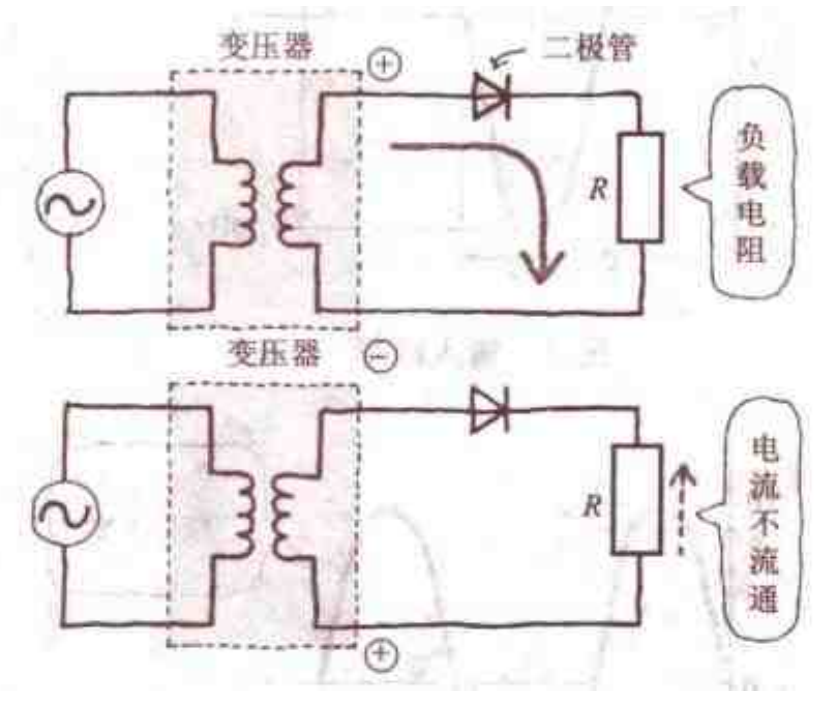


图 7　半波整流电路

(2) 全波整流方式

全波整流是取出交流的正、负两个半周期，将其变成直流的方式。如图 9

所示，将由次级侧上具有中间点的变压器和两个二极管组成的整流电路进行整流的方式称为全波整流。现在，当二极管的输入 v_1 是正半周时，二极管 D_1 是正方向 ON，在其后的负半周中二极管 D_2 成为 ON。对于正半周，是电压 v_1 加在负载电阻 R 上，对于负半周，是电压 v_2 加在负载电阻 R 上。如图 10 所示，将由 4 个二极管连结而成的全波整流电路称为桥式电路。在输入电压的半周期 AB 期间二极管 D_1、D_3 是正方向，在其后的半周期 BC 期间二极管 D_2、D_4 成为正方向，在交流电压的全周期内都能得到方向不变的输出电压。

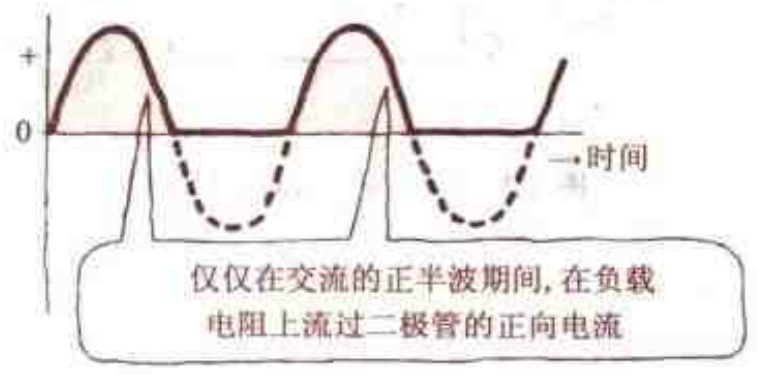


图 8　半波整流波形

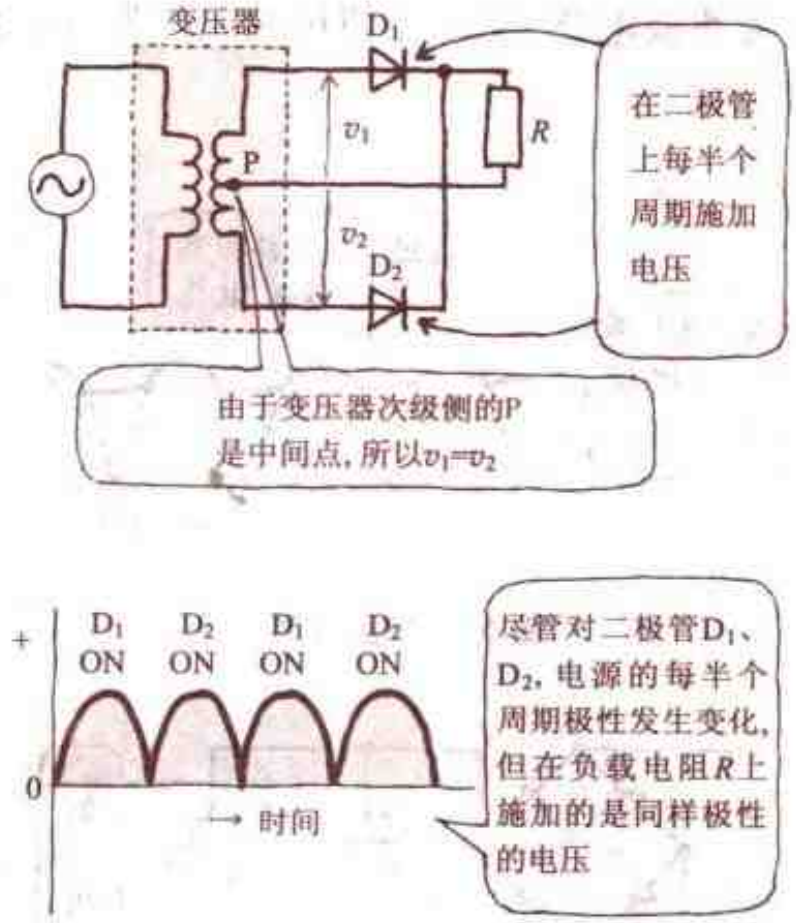


图 9　中间抽头变压器组成的全波整流电路和全波整流波形

把由 4 个二极管组成的桥作为 1 个整流元件，这种元件在市场上有商品销售。

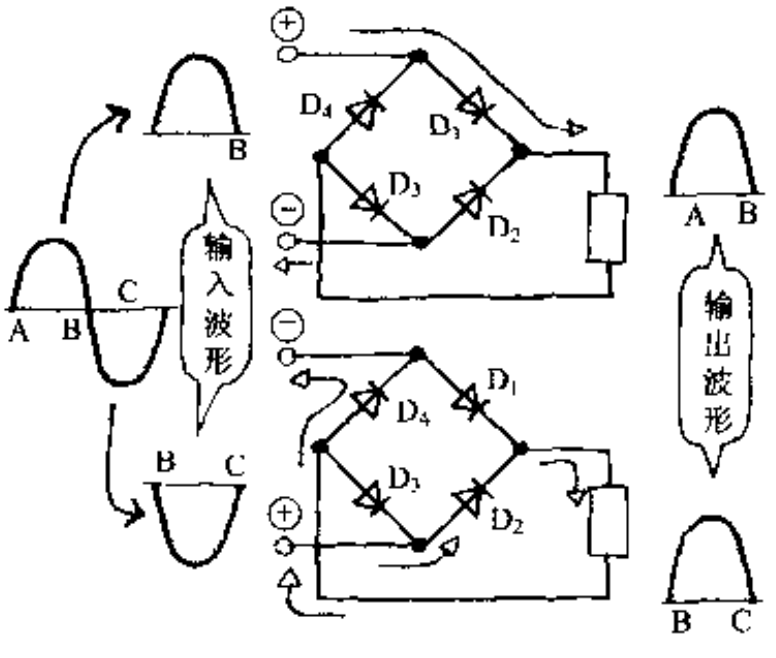


图 10　桥式电路和波形

滤波电路

如图 11 所示，整流过的输出电压虽然方向是相同的，但包含着大小不断变化的纹波(脉动)。因此，有必要将脉动的波平均作成大小近于一定的电压。用于这种目的的电路称为滤波电路，滤波时使用的电容器称为滤波电容。滤波电路的电路图如图 12 所示。

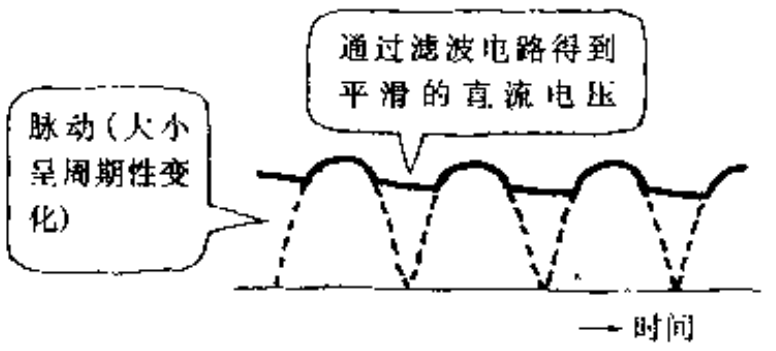


图 11　滤波波形

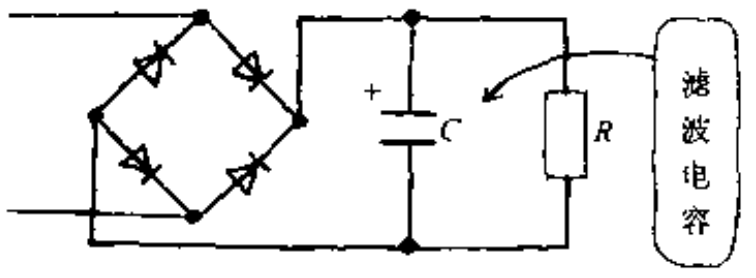


图 12　滤波电路

对于图 13 所示波形的 AB 间，输入电压使电流流过负载 R，给电容充电。从时刻 B 起电容器通过负载开始放电。在时刻 C 电容又开始充电，因此，纹波变小。电容器的电容越大越能得到平滑的波形。

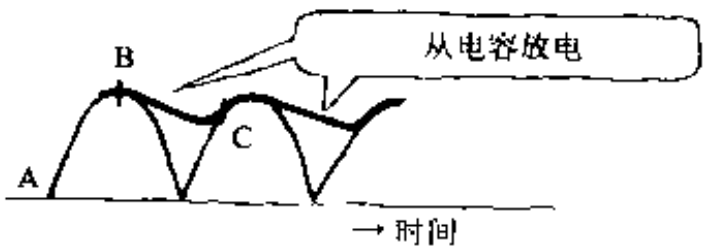


图 13　滤波的结构

稳压电路

当输入电压变化、负载电流增大时电源的纹波就变大，输出电压产生变动。稳压电路就是没有这种现象从而能使输出电压保持一定的电路，在稳压电路中一般使用如图 14 所示的被称为 3 端稳定器的专用 IC，这是一种组装了规定的 5V、12V 输出电压等的稳压电路的专用 IC。3 端稳定器的输入电压必须比输出电压高 20%左右。

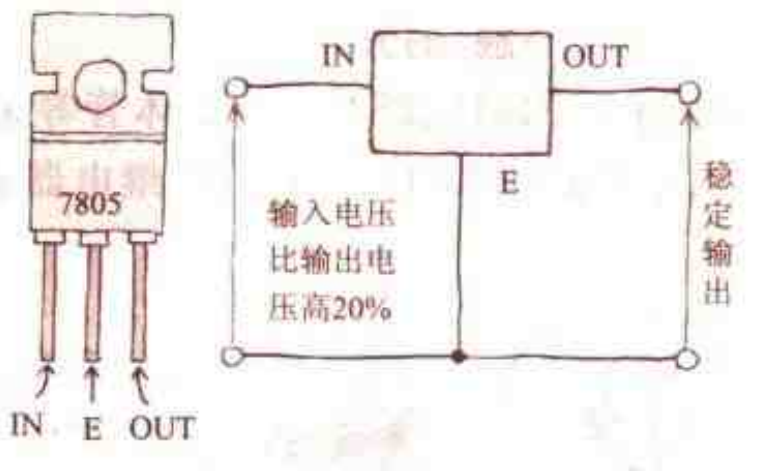
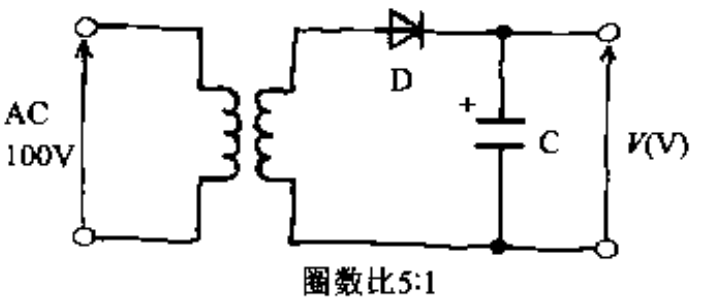


图 14　3 端稳定器和接线图

练习题

1. 对于如图所示的半波整流电路，设变压器的圈数比为 5∶1，在初级侧加 AC100V 电压时，直流输出电压的最大值 V 是多少伏？



解答

$V=\sqrt{2}\times 20\approx 28.3(\mathrm{V})$

11 晶体管放大电路



自己动手试着使用晶体管

在对事物的理解上有一句有名的谚语:“百闻不如一见”,说明了亲眼实际看一看的重要性。但是,电子电路到底是怎样组成的?将底板(印制电路板)翻过来可以看到,上面组装有电阻、电容、晶体管等。要想理解晶体管,只盯住晶体管看是没用的。实际上,必须自己动手先用晶体管组装简单的电路,也就是“接触”晶体管,实行“百见不如一触”的方针。

这里,使用容易得到的 2SC1815、2SA1015 晶体管等来确认晶体管的各管脚(电极)的动作,并用它亲手制作 LED 点灯电路、继电器驱动电路等试试看。



制作晶体管电路试试看

晶体管的基本动作

图 1 是用代表性的 NPN 型晶体管 2SC1815 构成的基本电路。现在，将开关 ON，就有基极电流 I_B 流通。由此，晶体管导通、集电极电流 I_C 流通。这样，通过 LED 的点灯就能够确认晶体管的基本动作。E_B 是使基极电流 I_B 流通的电源，E_C 是集电极电流 I_C 的电源。

虽然说晶体管有很强的电流放大作用，但如果不能正确地连接电源就不可能得到放大功能。图 2 是图 1 所示电路的实体图。在图 2 中，将开关 ON 时，由 $E_B=5V$，基极电流 I_B 流通。这时，图中的 LED1 点灯，我们知道基极电流流通了。LED2 在晶体管导通期间点灯。在这期间，LED1 微微点亮，LED2 则非常亮。从该 LED1、LED2 的明亮程度，就能够观察到通过在基极流通的小的电流使晶体管导通，从而有大量的电流从集电极流向发射极的样子。

将开关 OFF 时，基极电流成为 0，与此同时，集电极电流 I_C 就不流通，LED2 火灯。这样，就可以确认由于用开关使基极电流 ON、OFF，就使晶体管 ON、OFF 的基本动作。

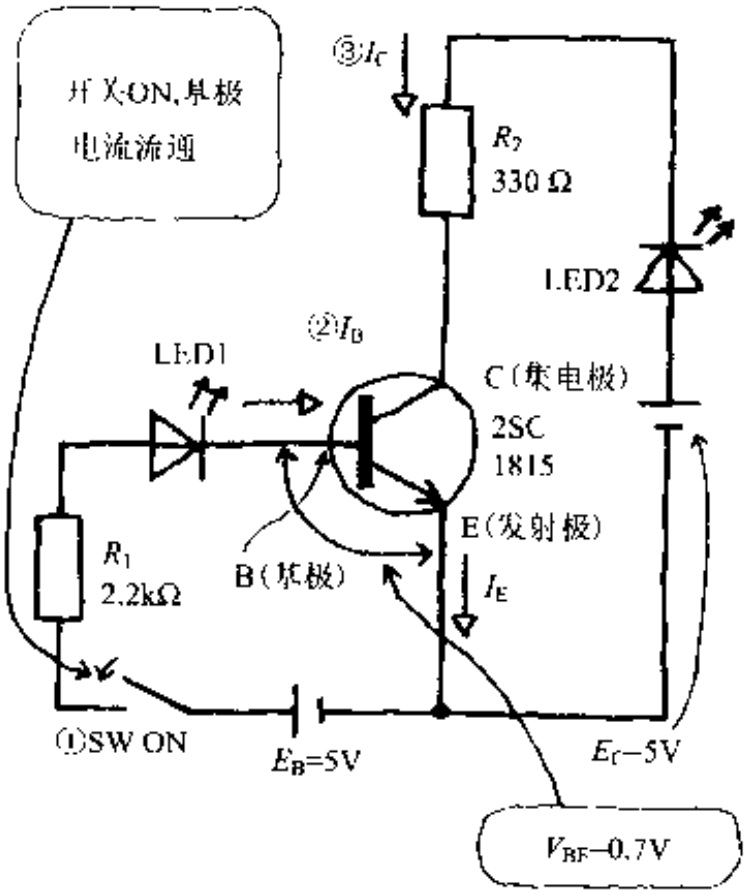


图 1 晶体管的基本动作

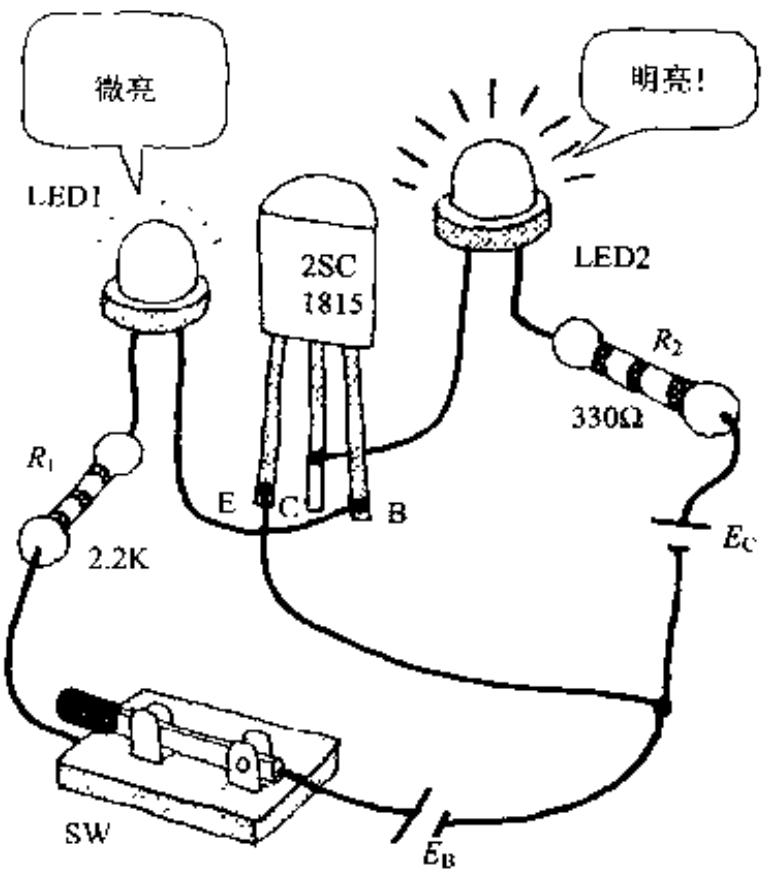


图 2 流经基极、集电极的电流

在图 2 的电路中，流过集电极电流的电阻 R_2 的大小可用下述方法求出：

● $R_2(\Omega)$的求法

由图 3，设流经 LED 的电流为 10mA=0.01A，求 $R_2(\Omega)$？

对于图 3，电路中电阻的大小基本上能够用欧姆定律求出：

R_2 ＝（电源电压 E_C－LED 的额定电压）/ 流过 LED 的电流

＝(5－2)/ 0.01 ＝300(Ω)→330(Ω)

NPN 型和 PNP 型晶体管电路

考虑用照片 1 所示的 NPN 型 2SC1815 和 PNP 型 2SA1015 的 LED 点灯电路，从中可以确认 NPN 管和 PNP 管的使用方法不同。

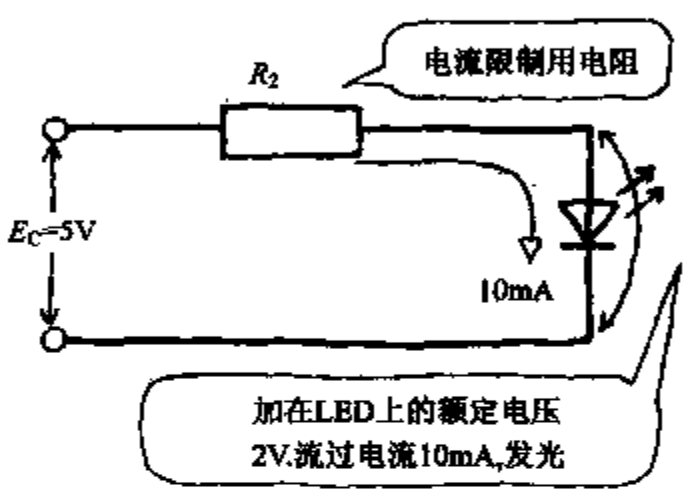
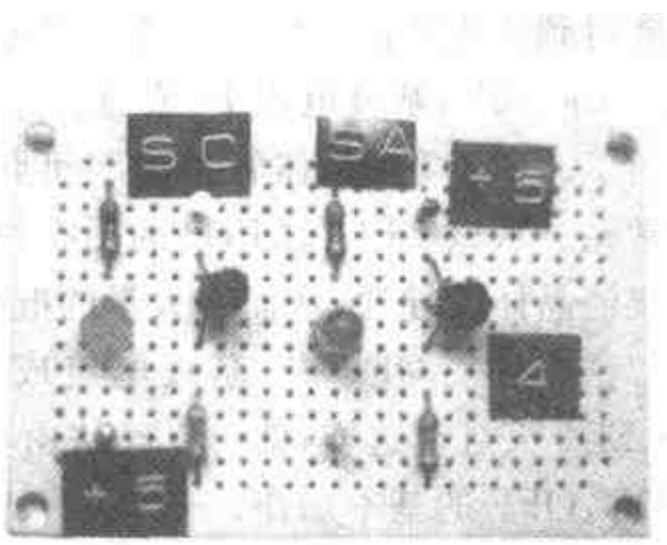


图 3　R_2 的求法



照片 1　NPN 型、PNP 型晶体管电路

由图 4、图 5 可以确认，无论是 NPN 型、PNP 型哪一种晶体管电路，都是由基极电流的 ON、OFF 使晶体管工作，在集电极上流通电流，从而使 LED 点灭的。在 NPN 型和 PNP 型中，加在晶体管上的电压的方向相反，因此，电流的方向也相反。在组成电路时，这一点必须注意。

无论哪一种类型的晶体管，在图形符号上注的箭头方向必须与集电极电流的方向，基极电流的方向一致。

● R_3(Ω)的求法

现在，设 2SA1015 的电流放大系数 h_{FE} 为 100，LED 的电流为 10mA (0.01A)，试求 R_3 的值。

由 $h_{FE}=I_C/I_B$ 得 $I_B=I_C/h_{FE}$，则

I_B ＝0.01/100＝0.0001(A)

R_3 ＝(电源电压－晶体管工作电压)/基极电流

＝(5－0.7)/0.0001＝43(kΩ)

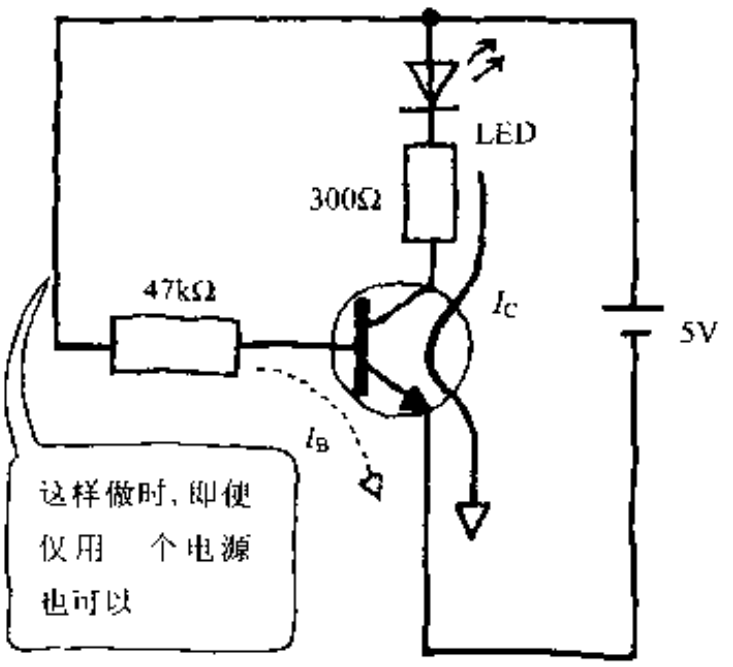


图 4 由 2SC1815 组成的 LED 点亮电路

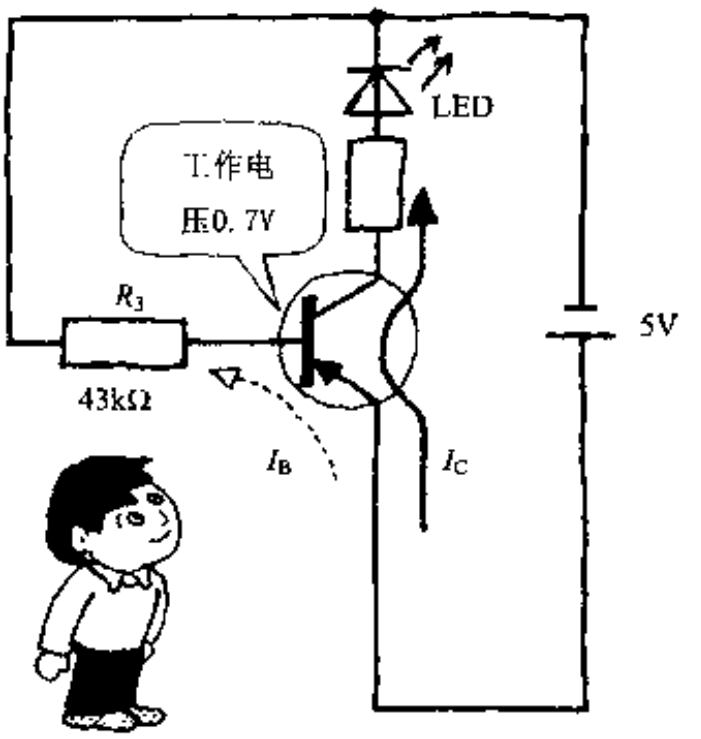


图 5 由 2SA1015 组成的 LED 点亮电路

继电器的驱动

继电器的基本结构如图 6 所示，在铁心上缠绕线圈，当电流流过线圈时就产生磁力吸引铁片。而且，利用由电磁铁使与铁片连动的接点的开闭的原理。就是说，这是用小的电流能够控制大的电流的结构。图 7 示出了继电器的内部电路。

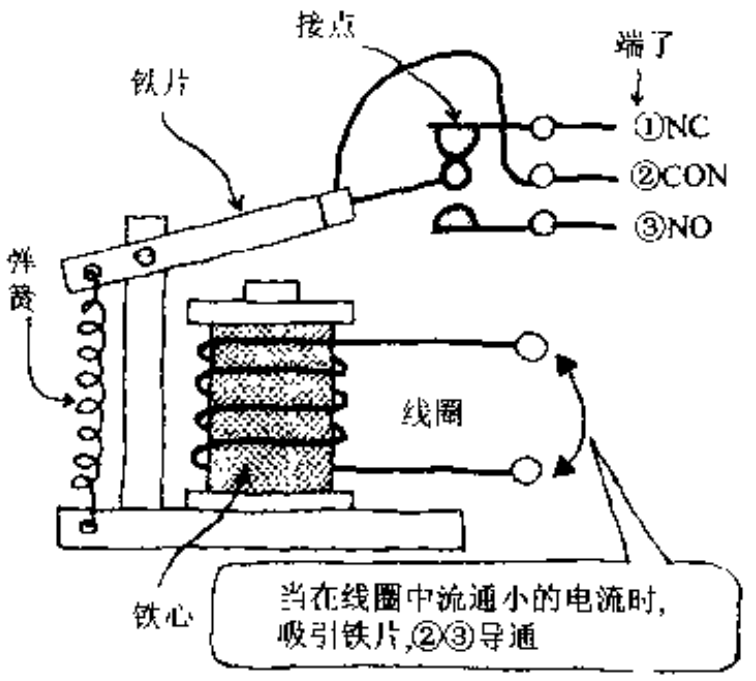


图 6 继电器的原理图

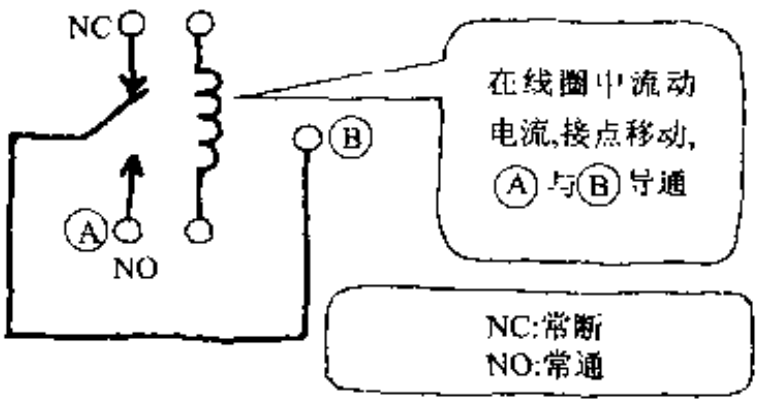


图 7 继电器的内部电路

图 8 是将继电器电路连接在晶体管电路上使马达、100V[1] 用的灯泡 ON、

1) 日本民用电为 100V。下同。 译者注

OFF 的电路例。该动作的顺序是：基极电流 I_B⑤→⑥ON→继电器 ON →接点②→③连接……Ⓜ 马达或者灯泡动作。

晶体管的导通和继电器的驱动

●R_4(Ω)的求法

在图 9 所示继电器驱动电路中

R_4 =（电源电压－晶体管工作电压）/基极电流

=(1.5－0.7)/0.001＝800→750(Ω)

在图 9 中，虽然晶体管的工作电源用的是干电池，但是，如果能够制作分压电路将继电器驱动用电源 5V 分压得到 1.5V，就可以不用其他电源。图 10 示出了这种电路。

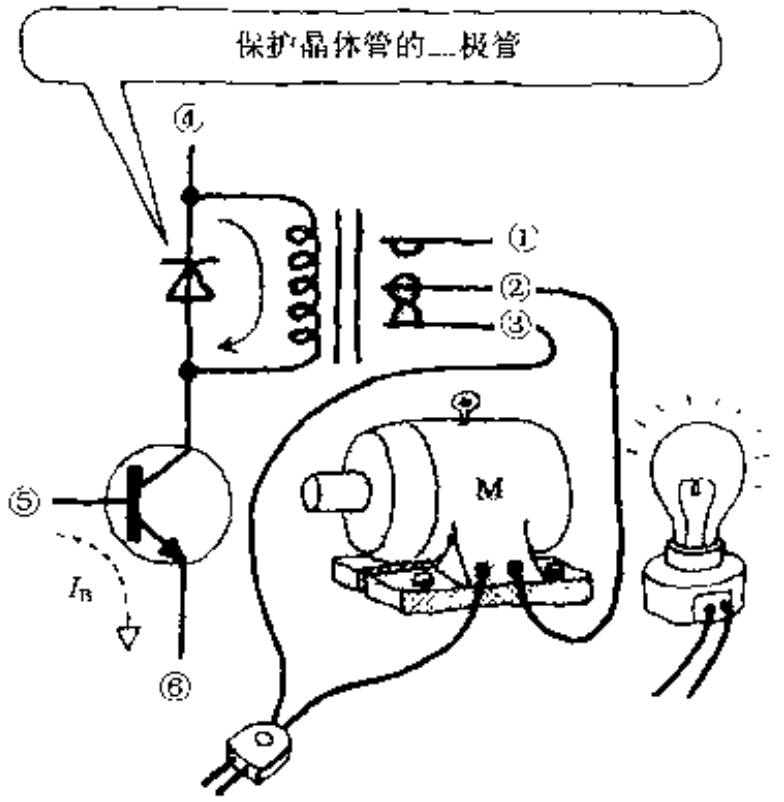


图 8　继电器驱动电路

现在，设 R_6＝750Ω，求将 5V 分压成 3.5V 和 1.5V 的电阻 R_5。

R_5 ： R_6＝3.5 ： 1.5(R_6＝750Ω)

R_5＝750×3.5/1.5＝1750 →2(kΩ)

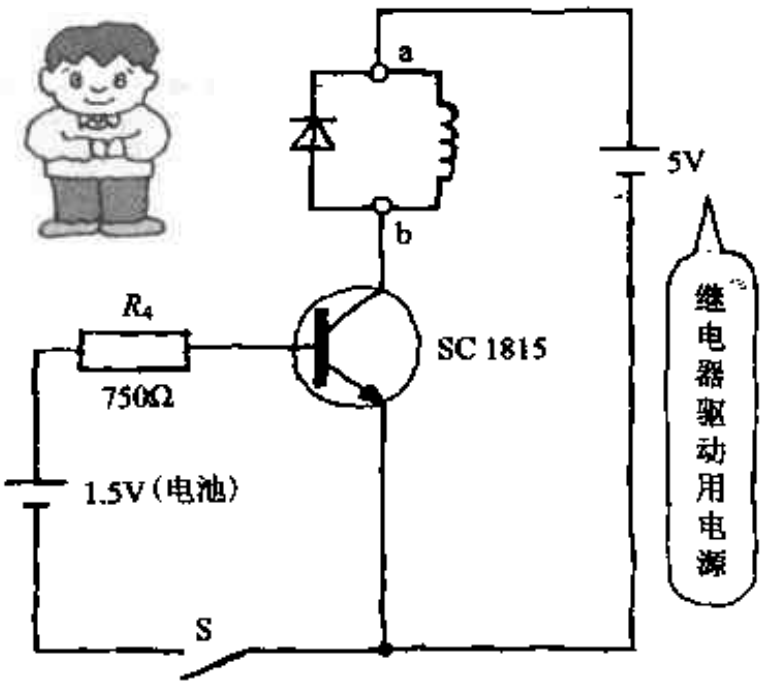


图 9　用于电池驱动继电器

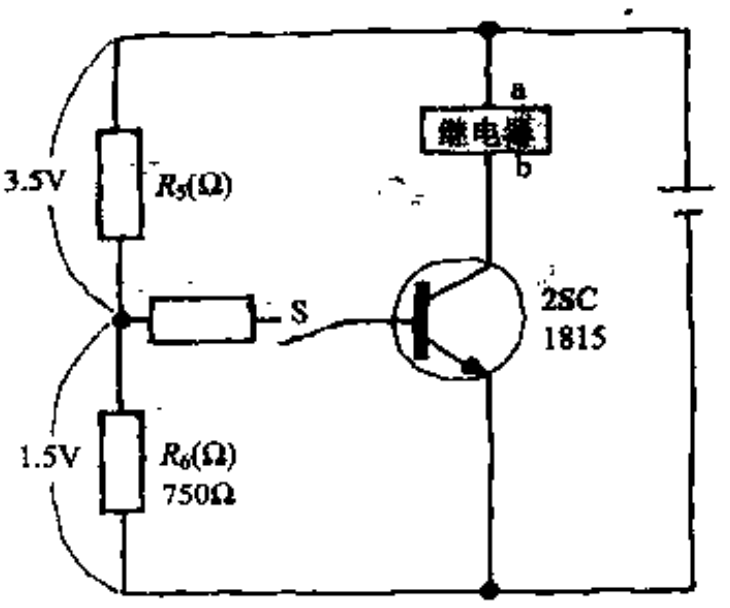
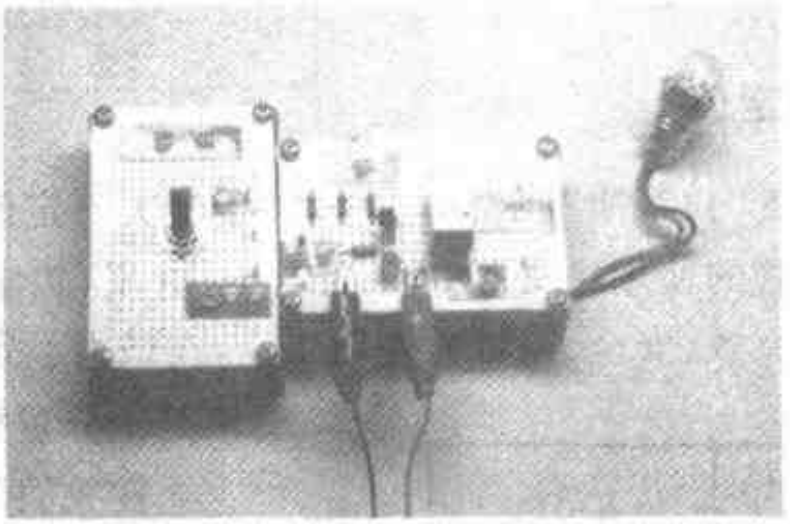


图 10　用单一电池的继电器驱动电路

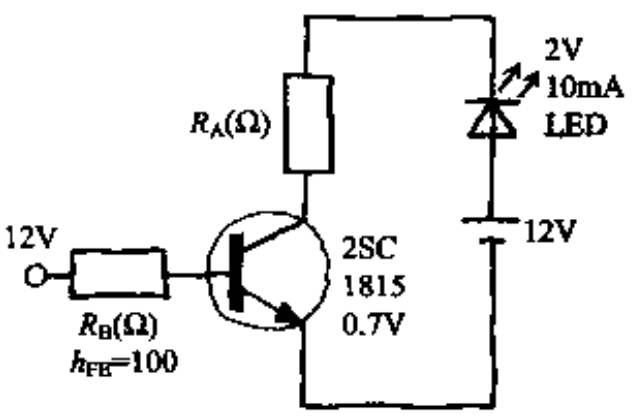
照片 2 是用继电器的点灯电路。



照片 2　用继电器使电灯点灯

练习题

1. 在图示的电路中，求出电阻 R_A、R_B 的大小。
2. 将继电器连接到电路上时，将二极管反向连接的理由是什么？

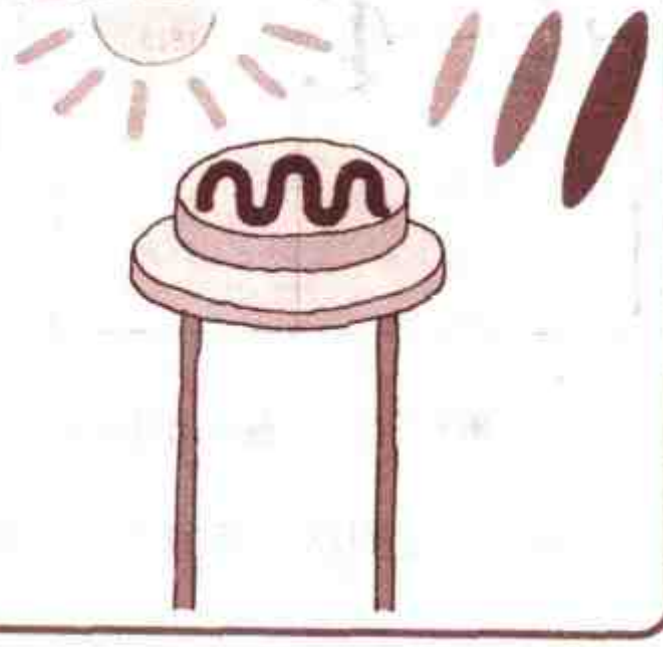


解答

1. $R_A = 1k\Omega$，$R_B = 113k\Omega$
2. 为了吸收当流经线圈上的电流 OFF 时产生的反向电动势，从而保护晶体管。

12 晶体管应用电路

——学习使用传感器



什么是最大额定值

在被称为晶体管“户籍簿”的规格表中，关于最大额定值是这样描述的：“最大额定值是在晶体管的使用中必须遵守的电压、电流、功率损耗等的最大容许值。为了使晶体管有效、安全、高可靠性地工作，在最大额定值以下的条件下使用是十分重要的”。

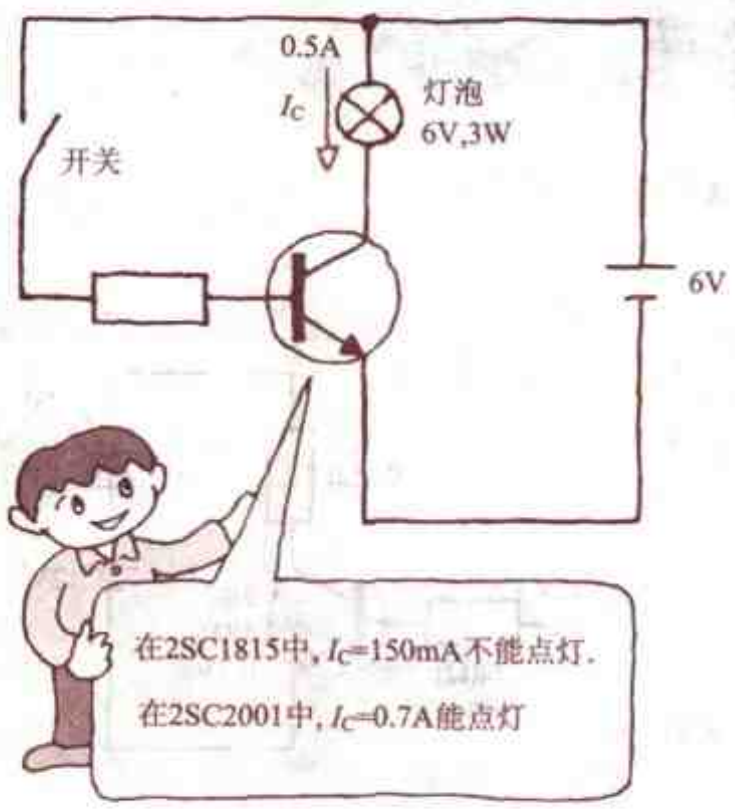


图 1　在灯泡中流通的 I_C 的大小

在我们的生活中，与最大额定值一样，也有许多使用上需要适当条件的情况。汽车的乘车人员定额就是一个例子。如果是 5 人就用小型车，如果是 30 人左右，就要准备大轿车。

作为从晶体管的规格表中调查最大额定值的一个例子，我们来调查一下 2SC1815 和 2SC2001 的最大集电极电流 I_C。

这种情况下，我们来考虑图 1 所示的用晶体管点亮电灯的电路中，晶体管的实际使用方法。

出规格表分析 I_C，结果是

2SC1815 $I_C=0.15A=150mA$

2SC2001 $I_C=0.7A=700mA$

灯泡的点灯电路

现在，准备 6V，3W 的灯泡，当求流经灯泡的电流时，得到 $I=3/6=0.5$（A），我们就明白为了使灯泡点亮必须有 500mA 的电流。

由于 2SC1815 的最大额定值是 150mA，用它不能点灯。但是，如果使用 2SC2001 就能够点灯。

这样，有必要考虑负载（在该例中，就是灯泡 0.5A）的电流容量，以它为基础从规格表中选取适当的晶体管。由于 2SC2001 的集电极电流是 0.7A，如果用 0.5A 左右的马达、螺线管代替灯泡连接时，也能够驱动它们。

在晶体管中，也有能够流通几十安大电流容量的晶体管。

达林顿连接电路

如图 2 所示那样将两个晶体管连接的电路称为达林顿连接电路。它是将在晶体管 TR1 中放大的电流流入晶体管 TR2 的基极，由 TR2 进一步放大，流出大的集电极电流 I_C 的方法。达林顿连接电路的电流放大系数是被连接的晶体管的各自的放大系数之积。

现在，设 TR1 的 $h_{FE1}=100$，TR2 的 $h_{FE2}=200$，图 2 所示达林顿连接电路的电流放大系数为 $h_{FE}=100\times200=20000$。

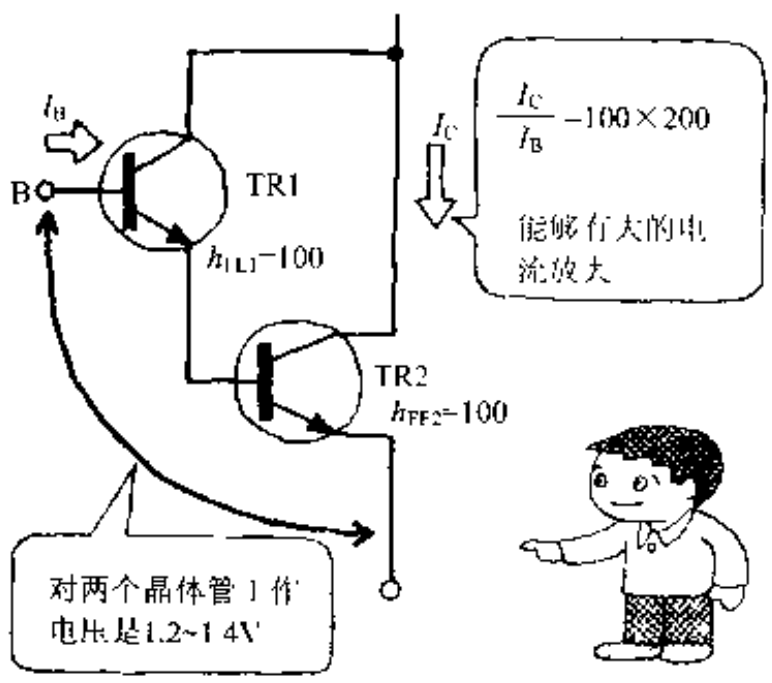
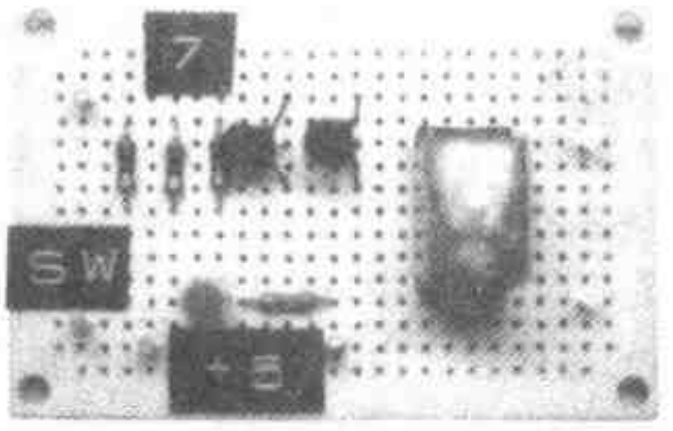


图 2　达林顿连接电路

现在，在图 1 中不能点灯的灯泡，在由图 2 的 2 个晶体管组成的达林顿电路中就能够很好地点灯。

由于达林顿连接电路能够得到大的电流放大系数，在需要大电流驱动的情况下是十分有效的。照片 1 是由达林顿电路驱动继电器的一个例子。



照片 1　由达林顿电路驱动继电器的例子

应用电路 1

在图 3 所示的连接了电容器的达林顿连接的灯泡点灯电路中，当按钮开关 ON 时，会怎么样呢？

在 ON 的瞬间电解电容器被充电，同时灯泡点灯。然后，将开关放开，如图 4 所示，从电容器向基极施加电压，直到蓄积在电容器上的电荷到一定程度而放电的这段时间内，灯泡继续点灯。改变电解电容器的电容量，能够调整切断按钮开关后灯泡的点灯时间。

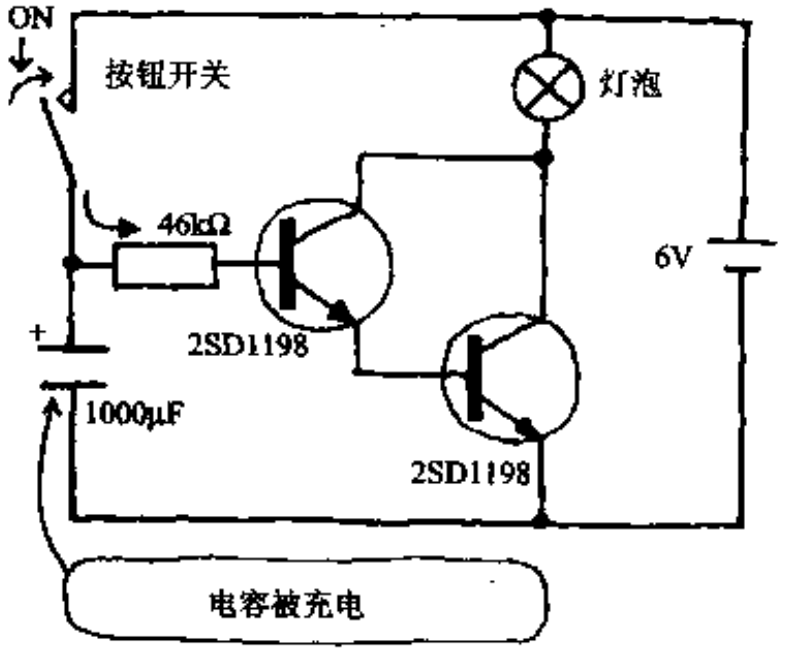


图 3　向电容器充电

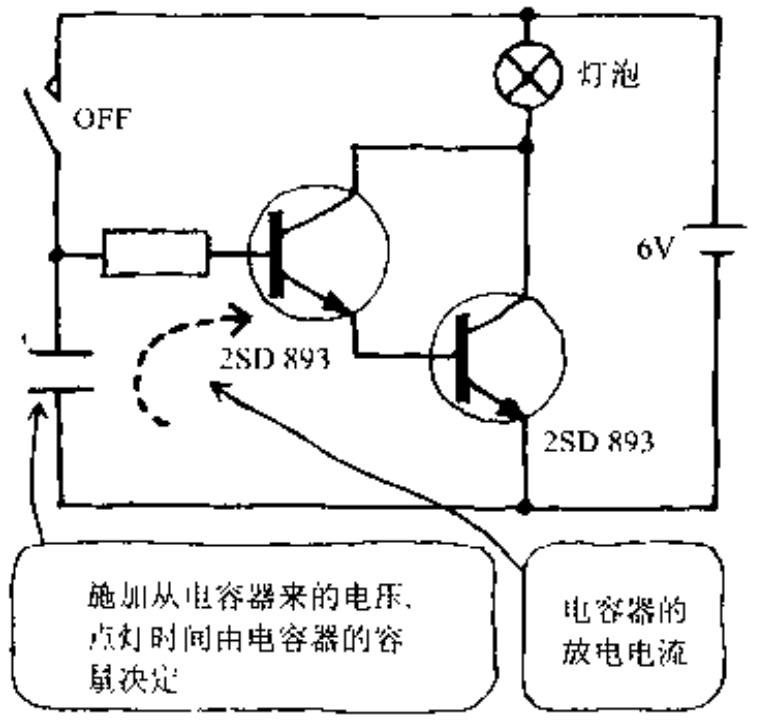


图 4　从电容器的放电

应用电路 2

传感器是检测光、声音、温度等的器件。如果由这些传感器的输入信号能够使晶体管 ON、OFF，晶体管的应用就能够极大的扩展。这里，作为传感器，考虑图 5 所示的使用硫化镉光导电池的电路。

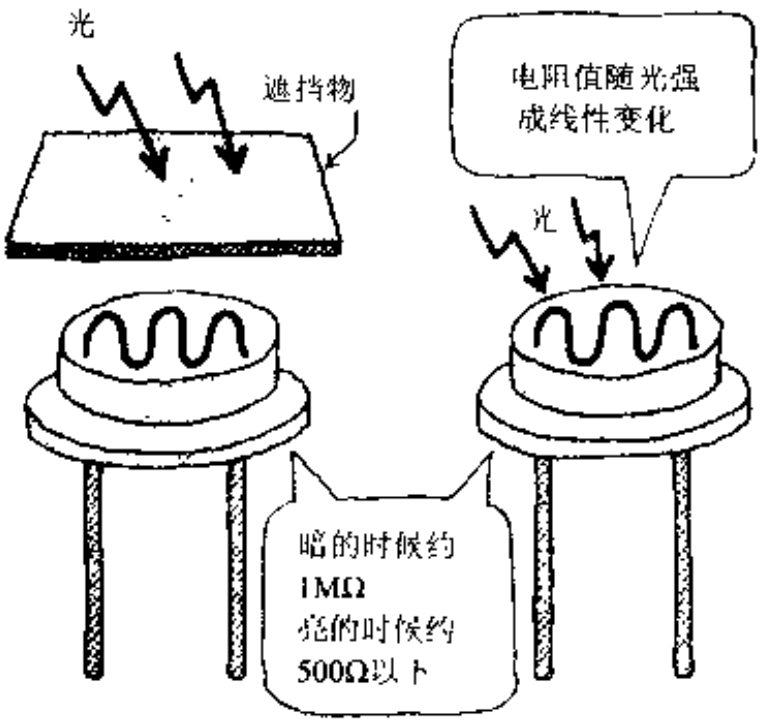


图 5　CdS 的电阻变化

图 5 所示电路的结构是，将因亮度改变电阻值的 CdS 光导电池与图 6 所示的可变电阻(VR)组合起来，控制施加在晶体管上的电压。

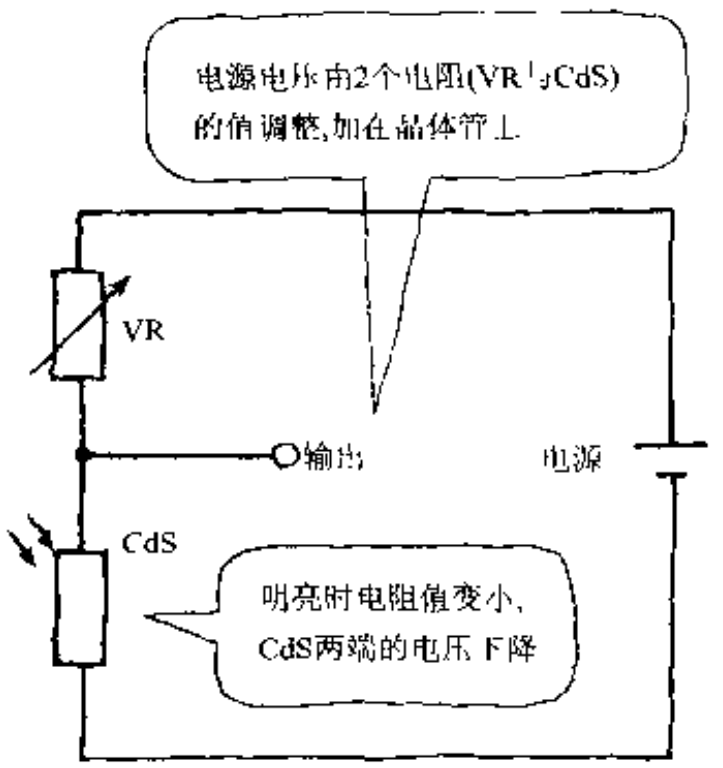


图 6　由 CdS 和可变电阻组成的检测电路

控制晶体管 ON、OFF 的电路

在图 7 所示电路中，当光照射到 CdS 上时，电阻就变小，加在基极上的电压就变小。当把光遮挡住的时候，CdS 的电阻就变大，加在基极上的电压变大，晶体管 ON，LED 点灯。

在图 8 的电路中，当光照射时 CdS 的电阻值变小，加在基极上的电压变大，晶体管导通，集电极电流流通，LED 点灯。当把光遮挡住时，CdS 的电阻值就变大，加在基极上的电压就变小，晶体管就不导通，LED 熄灭。

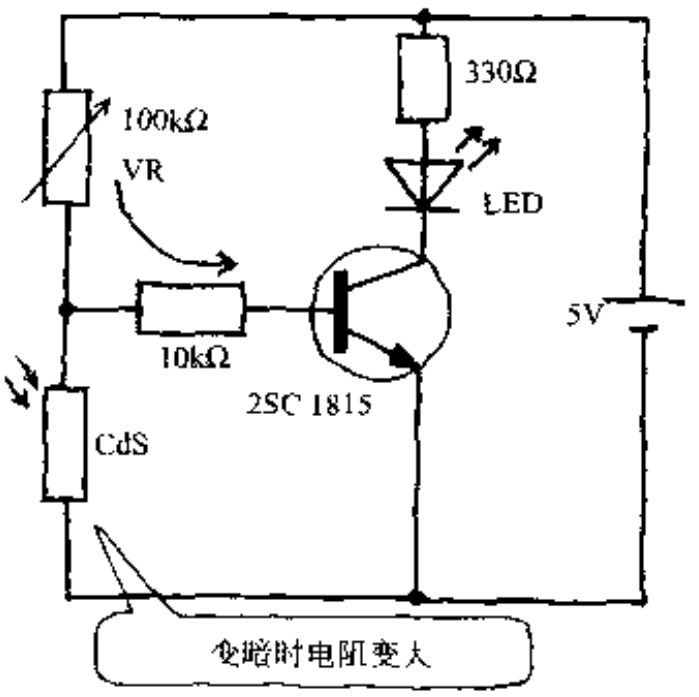


图 7　当变暗时晶体管就 ON 的电路

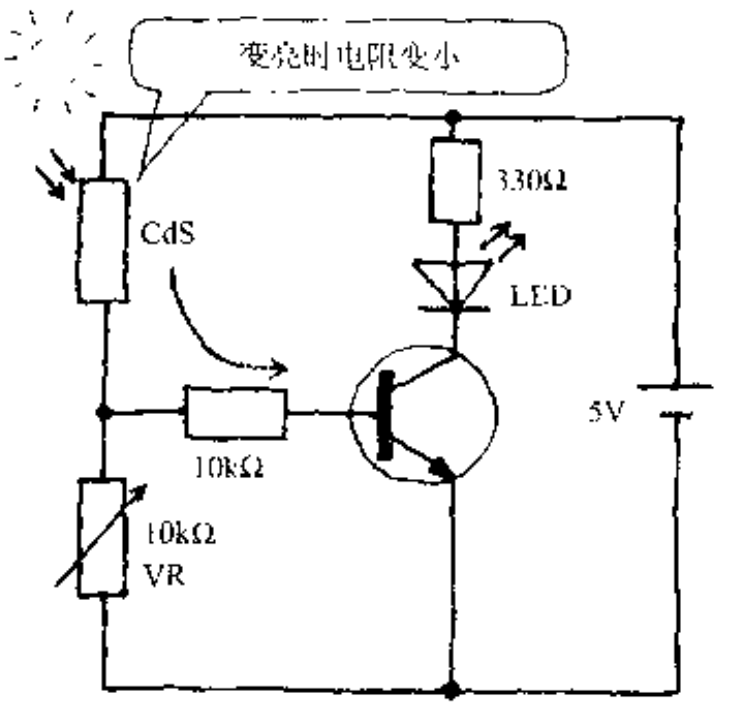
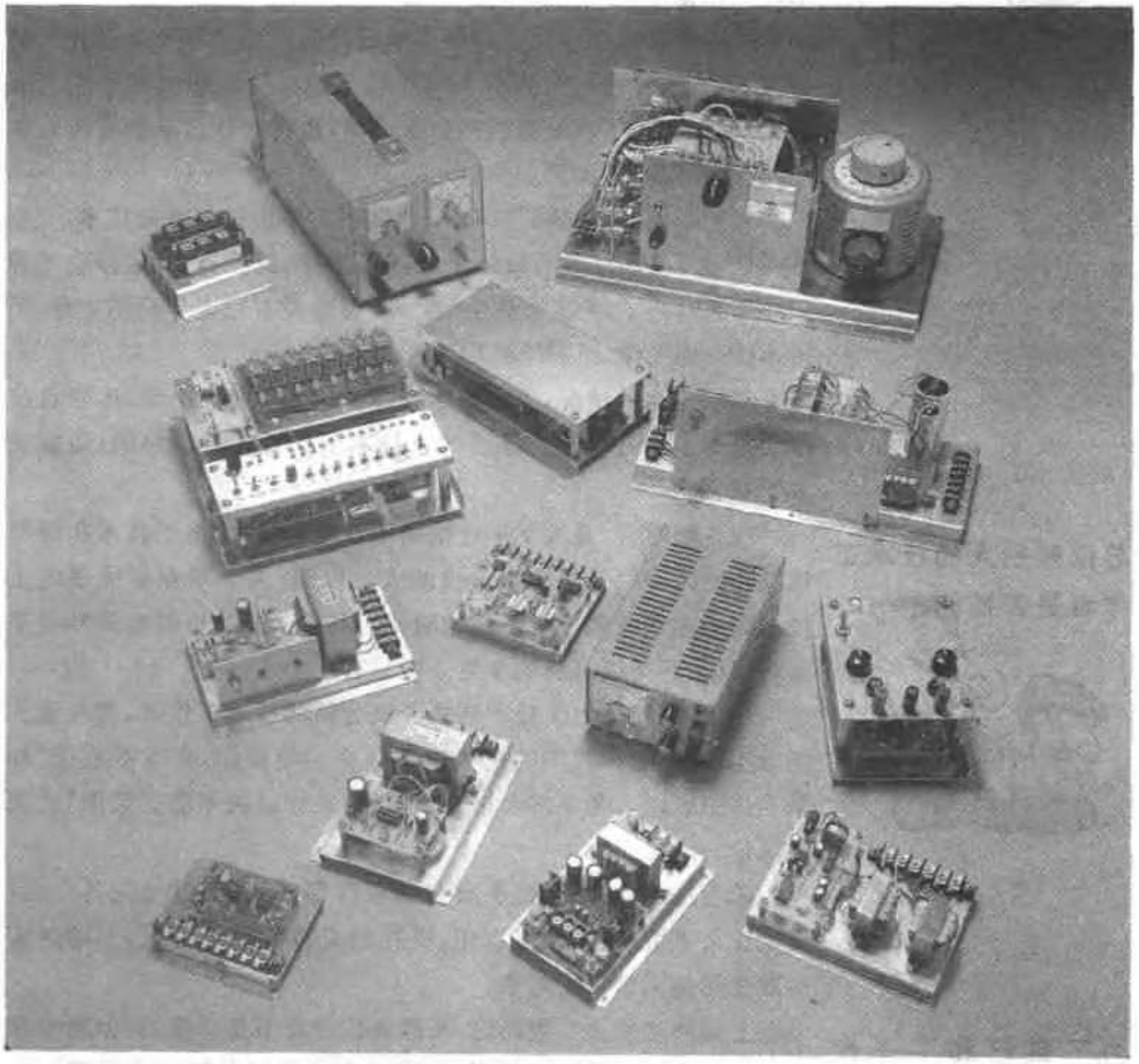


图 8　当变亮时晶体管就 ON 的电路

第 2 章

电力电子技术入门



电子技术和电气技术工作者



最近，一说到电子技术，就炫耀个人用计算机、微型计算机，有一种忽视了电子的基本本质的倾向。无论对个人还是对企业，说的更大一些，对我国（日本）产业技术的未来，这都是重大的损失，是一种令人担忧的现象。

人们常爱说：买台个人用计算机，一敲击键盘，就什么事情都能干，"买来硬件系统就可以"，"选择适当的软件买来就可以"。

如果到书店去，虽然关于个人用计算机和微型计算机的专业书籍堆积如山，但是，如果不首先购买相应的高价系统，那些专业书籍的内容就毫无意义。即使买来高价的系统又每天爱不释手的研究专业书籍的内容，到头来仍然是无论如何也理解不了它的真髓。只是具有了"在我身边准备着机器，也许对什么事情可能有些用处"这种安心感而已。

光阴似箭，当觉醒的时候，自己却没有掌握任何基础技术，人也不再是学习基础技术的最佳年龄，闲暇时间也没有了，金钱也不像以前那样富裕了，为了家庭生活，子女教育及自己老年后的生计，不得不拼命地工作，而不能顾及其他。

如果是这种情况，当走近生命的终点时，回顾往事，再想自己当初是为了什么目的选择了电气技术工作者这条道路的，也就失去了意义。

总依赖别人的技术工作者是苦恼的……



现在的时代，是大学毕业生满不在乎地参加"电工技术初级考试"的时代。而且，还有不及格的人。以前，大学毕业是挑战电工技术高级考试或者中级考试的时代。高等工业学校的电气专业毕业时，只达到初级合格的学生一般只有几个人。

现在，即使是电工技术初级考试合格的技术工作者，实际业务能力也不一定行，现场的机械也不敢交给他操作，常常听到说"如果不是中级以上考试的合格者，现场的工作就决不敢交给他"之类的议论。

随着技术的发展，似乎所有的东西都已完成，过分完备，一旦发生什么事情，买来就可以用，委托别人替我做也可以，上述的实例就变得越来越多了起来。

为了自己和下一代……

上面的意见是一般而论，虽然各位读者不是这样的，但至少存在这样的世风、潮流，这是事实，所以有必要用我们的力量把这种情况修正到正确的方向。

为了我们自己，也为了下一代的后辈们，掌握电子技术有必要从基础一步一步地积累，从制作物理实物的操作技术中研修基础知识，认识如果不能掌握基本技术就难成大器的道理，明确学习方

向不断前进。

随时将工具、部件放在手边……



但是，现实的情况是，无论是从事基础电气技术的技术工作者还是初出茅庐的技术工作者，一旦想自己动手制作这里介绍的简单电路时，往往是不管是在自己的家里，或者在自己的工作场所里，工具也没有，材料部件也没有，而且，在一些小城市或偏僻的地方，想得到一些部件也不容易。事实上，对于一些自称为电气技术工作者的人，在自己家里，或在工作场所中，连一块焊锡也找不到的并不罕见。

下面给出必须具备的最低限度的工具，包括：

(1) 电烙铁，焊料(50/50，或者 60/40：锡 60%，铅 40%)。

(2) 镊子，螺丝刀，钳子，小刀，锉刀，虎钳。

(3) 钻孔器(手摇钻或者小型的电钻，桌上镗床等)，钻孔器的刀尖 0.6，1，1.6，2.1，3.2，3.6，4.2 等。

(4) 万用表(模拟式一台，可能时希望有一台数字式的)。

(5) 同步器(10 万日元以下的便宜的产品当前已足够)。

(6) 印刷电路板制作材料(在材料店上市的产品已足够)。

(7) 与钣金加工有关的工具。

等等。虽然不仅仅限于上述这些，但是，如果想学习电子技术，掌握这种技术，整备周围的环境是十分重要的。

寄予年轻的技术工作者希望…

根据上述宗旨，这里准备了几类以工作为主体的研究电路的例子。虽然，直到现在还有不少人认为其中有的电路是很幼稚，但实际上，即使这种程度的电路，一旦想制作，也是很费劲的。

日本现在是世界上数一数二的经济大国，是掌握高技术产业尖端技术的先进国家，这一点是无论谁都相信的事情。

而且，肩负重任的正是年轻的技术工作者们。本书正是满怀对年轻人的期望精心策划的。

● 寄予期望成套配件的各位读者

(1) 部件的收集也包括在工作技术范畴内，并不提倡买到全部的配套元件。最重要的是必须考虑如何很好地使用手边所具有的部件、材料，只有无论如何也难于入手，又不具备制作能力的部件才考虑购入。

(2) 电子装置的机壳设计十分重要，我们所需处理的机壳仅仅是如照片所示的简单的底壳，真正的机壳是骨干部件，不包括在材料中。说到底，请以你自主的判断、自力地解决。

(3) 就印刷电路板来说，本书中涉及的印刷电路板全部准备了。虽然，我们的方针是连印刷电路板也要用自己的力量制作，但是，在技术达不到时也是没有办法的事情，即使购入，也希望各位将其作为自己制作的样本购入。

(4) 在电子技术工作中，半导体类的器件必须准备所用量的 1.5～2 倍程度，这是十分宝贵的经验之谈。这是因为在调试、试运转的过程中因失败烧坏器件的例子很多。由于半导体器件价格便宜，请不要吝惜，不要怕失败，要有经过多次反复试验直到最后成功为止的思想准备，这是最重要的事情。

1 实验装置用±4~18V稳压电源的制作

众所周知，进行OP放大器IC（运算放大器）电路实验时需要±15V的电源，这时，应采用具有确实可靠性的、操作简单的方法。

电路及其要点

图1是电路图，该电路图的原形取自《OP放大器IC实验与工作入门》（OHM社）一书，这里对其进行了适当的改良。由图可知，这是将约9V（8～10V左右）电压倍压整流得到的15V的电源。这种变压器自己动手制作很容易，得到它也简单。

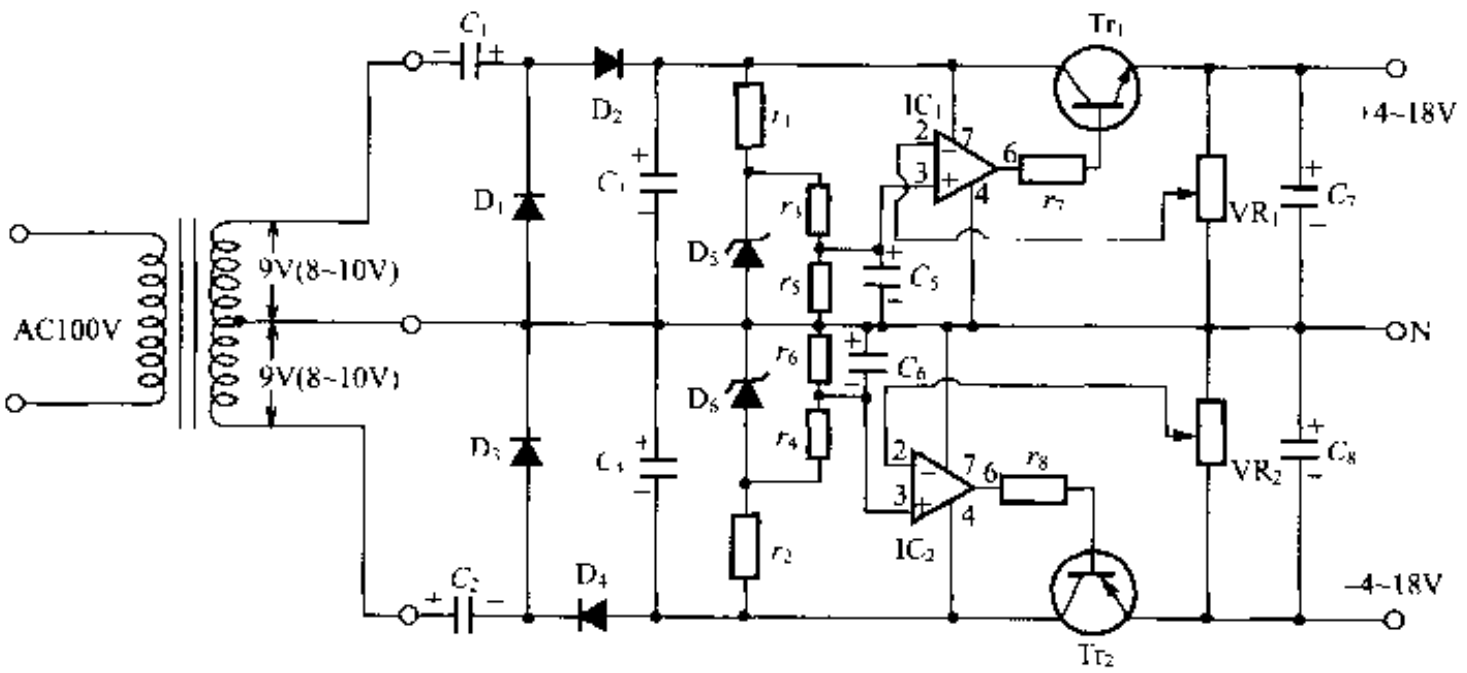


图1　稳压电源电路图

输出电流的容量是由变压器和晶体管决定的，以OP放大器用为目的时，有200～300mA就足够了，不要过分的要求大电流，最重要的是要准备好能够

随时轻而易举的制作出使用OP放大器的传感电路用的电源。

部　件

变压器 T	100V/9V×2，0.3A 左右(8～10V 也可以)
C_1，C_2，C_3，C_4	500～1000μF(250μF 也可以)
C_5，C_6	100μF /16V
C_7，C_8	100～250μF /25V　　也可以省略
D_1，D_2，D_3，D_4	1A/100V 程度的硅整流器　任何厂家的产品都可以
D_5，D_6	5～6V 程度的稳压二极管(RD-5A 等)任何厂家的相当制品都可以
r_1，r_2	700～800Ω 1/2W
r_3，r_4	3～5kΩ 1/4W
r_5，r_6	7～10kΩ 1/4W
r_7，r_8	50Ω～100Ω 1/4W
VR_1，VR_2	10kΩ 电位器，印制电路板装配型、普通产品都可以
IC_1，IC_2	741 型 OP 放大器 IC 通用品也可以
Tr_1	NPN 型　　50～100V 程度的通用品 例如 2SC3419
Tr_2	PNP 型　　50～100V 程度的通用品 例如 2SA1356
印制电路板	

制作方法

图 2 是印制电路板图，图 3 是组装的实物布线图。

实物布线图

图 3 中没有安装图 1 的 C_7，C_8，这是由于考虑到在实际应用的情况下原则上在负载侧(OP 放大器等电路)和电源输入端都要附加若干平滑滤波电容，大部分情况下即使省略 C_7，C_8 也没关系。

• 装配注意事项

(1) 注意不要将 C_1，C_2，C_3，C_4 的电容的正(＋)、负(－)极性接错。当将这些电容的“＋”、“－”极性接反接通电源时，经几分钟电容就有爆炸的危险，即使不爆炸也会发热发烟，电容器无疑会毁坏。虽然，为了学习的目的做这些实验还是有价值的，但是，衷心希望各位读者一定要注意防止发生危险再进行实验，这是头等大事。

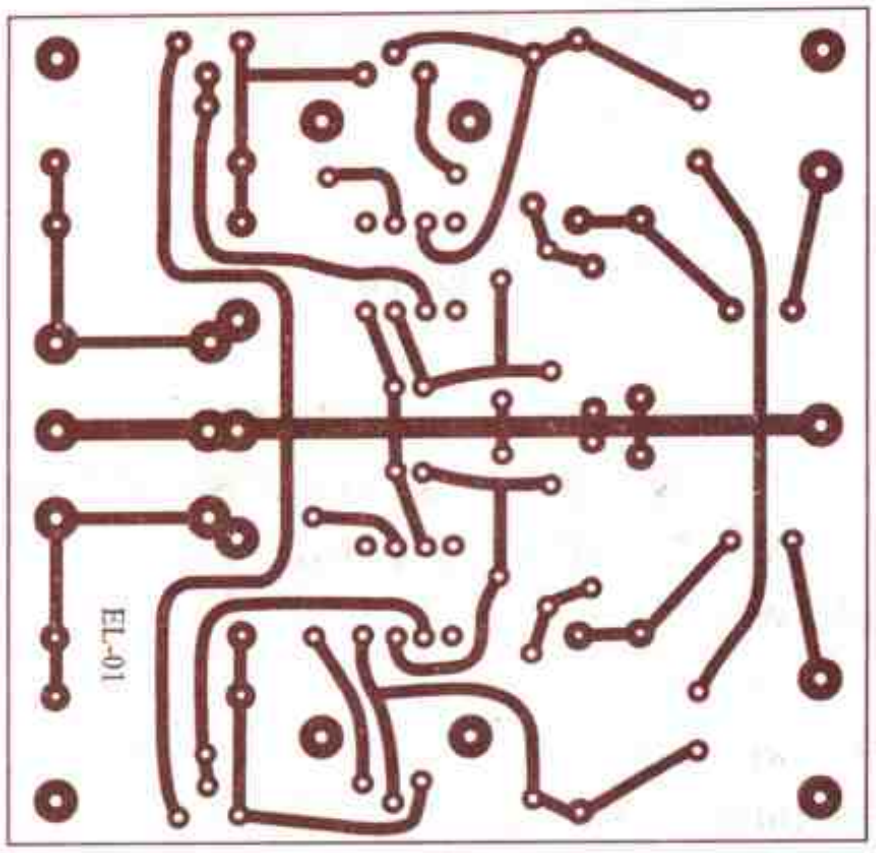




图 2　印制电路板图(原尺寸大小)

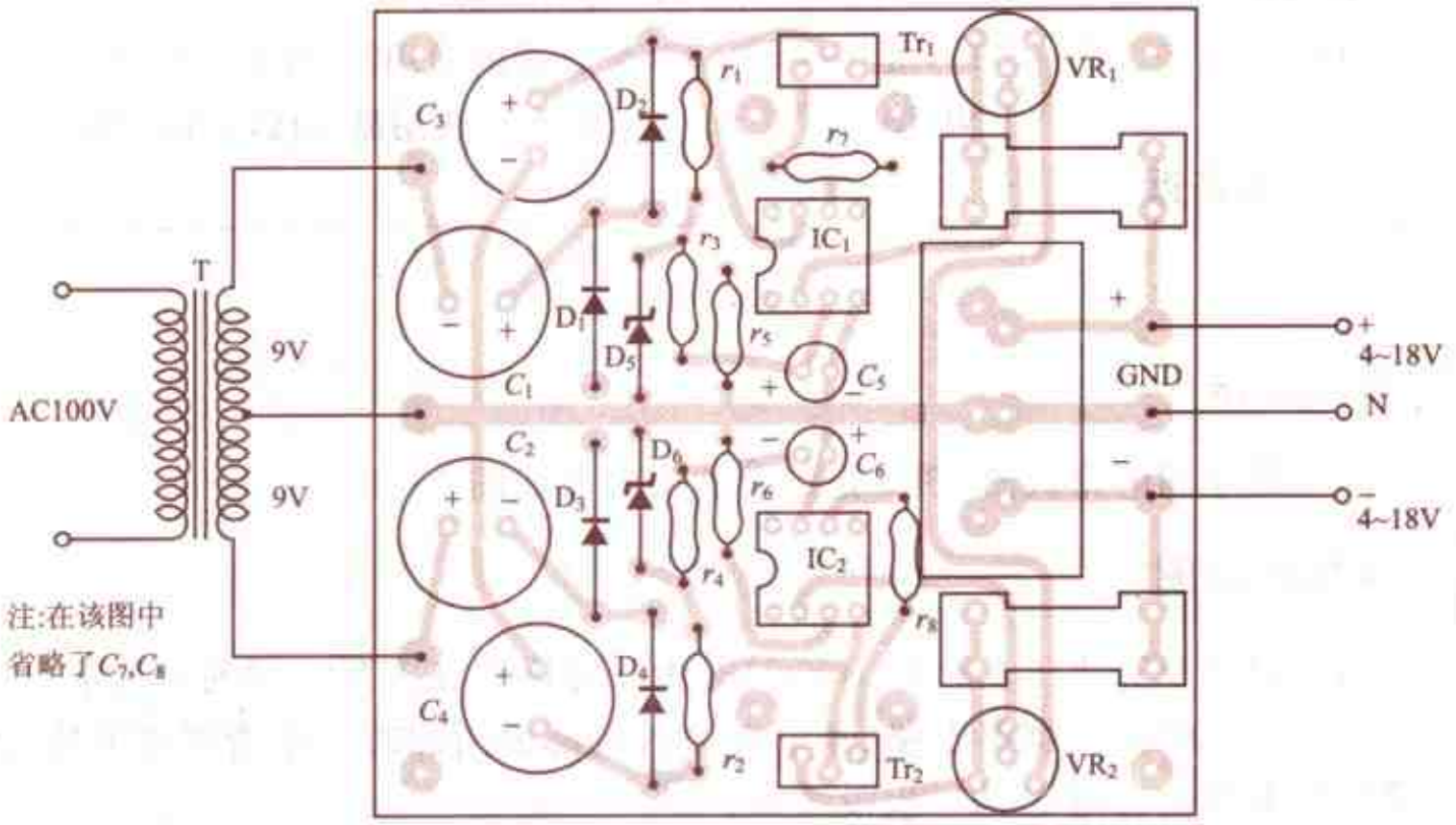


图 3　实物布线图

(2) 注意不要将二极管的方向接错。

(3) 晶体管也是“+”侧 NPN,2SC,2SD 型,“−”侧是 2SA、2SB 型,注意不要接错。

电路的要点

(1) 是倍压整流方式。

(2) 当输出电压设定为 VR 时，为了将输出电压降到比稳压二极管的电压还低，将稳压二极管的电压用电阻分压法制作基准电压。因此，当希望变更电压范围时，只要变更 r_3，r_5 或者 r_4，r_6 的分割比就可以。

(3) C_5，C_6 是减少输出电压纹波的决定手段，这是宝贵的技术诀窍，务请牢记。

(4) 当 r_7、r_8 大于 1kΩ 时，将损害输出电压的稳定度。

在该电路中，在输出侧没有设置短路防止电路。如果错误地将输出侧短路，将烧坏晶体管。有精力的话，请研究一下短路防止电路。

2 可变型3端调节器(使用LM317、LM337)实验用电源的制作方法

电路及其要点

图1示出使用可变型调节器LM317，LM337(LM317，LM337是电压可变型3端调节器，相应产品是业已大量上市的通用品。电压可变范围：+1.2～34V，电流容量0.5A；−1.2～34V，电流容量0.5A。)实验用电源的电路图。输入电压16V，由倍压整流得到约40V的电压。由于IC是简单的串联稳压器使用方法，所以会产生热量。为了散热使用若干大型散热器。电路图中的硅整流器D_3～D_{10}是做保护用的，原理上是可以不用的。

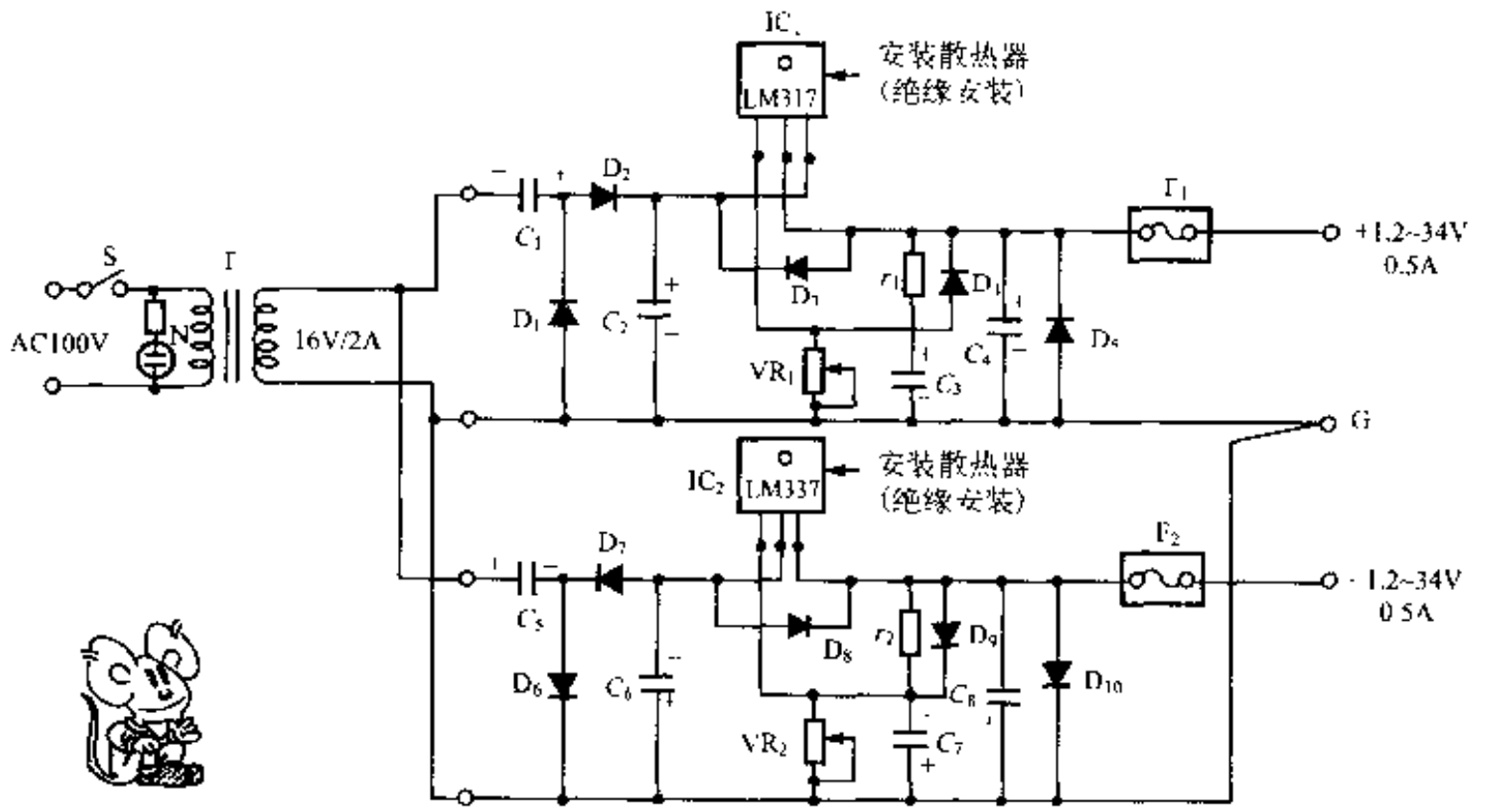


图1　可变型调节器实验用电源的电路图

部　件

IC_1	LM317T 或者相当的产品	
IC_2	LM337T 或者相当的产品	
$D_1 \sim D_{10}$	1A/100V 硅整流器，通用品、类似品也可以	
C_1，C_2，C_5，C_6	470μF/50V	
C_4，C_8	100μF/50V	
C_3，C_7	20μF/50V	
r_1，r_2	220Ω 1/4W	
VR_1，VR_2	10kΩ	
散热器	尽可能大，大于 5cm×10cm 的长方形	
T	AC100V/16V 2A 程度	
S	开关	根据喜好决定
N	氖灯	
F_1，F_2	1A 保险丝支架及保险丝	
电位器用旋钮；接线柱，终端类		

注意电路图中 C_1 和 C_5 的极性(＋，－)不要接错，IC_1 和 IC_2 的管脚配置不同，这一点要特别注意。图2是印制电路板图的一个例子。图3是组装的实物布线图。

(1) IC_1，IC_2 用云母或者聚酯树脂板绝缘安装在大型散热器上。

(2) 注意电容器的极性(＋，－)，方向不要接错。

(3) IC_1(LM317)，IC_2(LM337)中，IC的管脚配置不同。如果将管脚接错，IC就会损坏。

(4) 二极管的方向也要注意。

(5) 其他的开关，氖灯，保险丝等，可根据喜好使用。

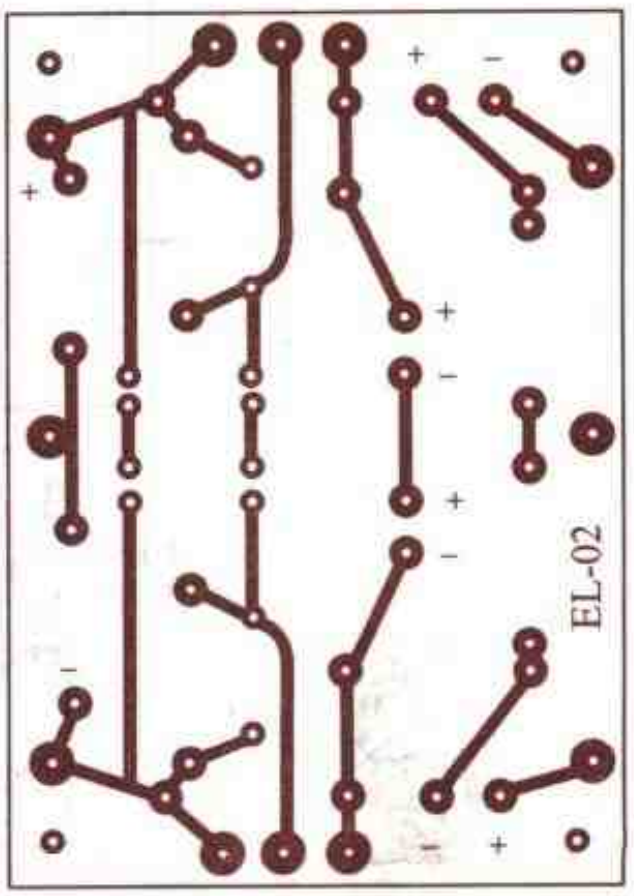


图2　印制电路板图(原尺寸大小)

运转、调整、设计

如果进行正常的连线，任何地方都不需要调整，作业就可以结束了。

实物布线图

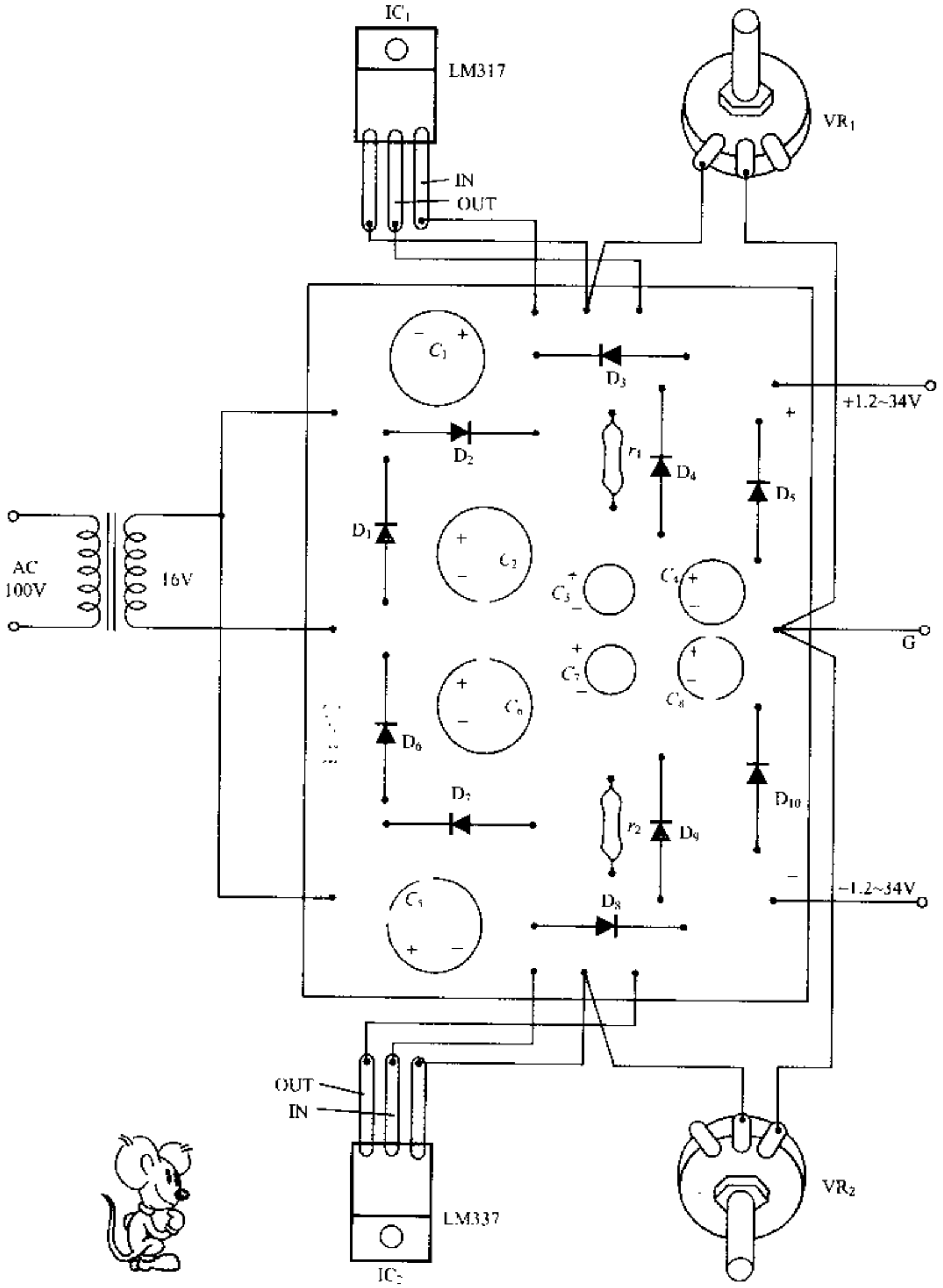


图 3　实物布线图

虽然带有T形式的IC LM317T,LM337T的电流标准达到1.5～2A,但这时电源的变压器容量也成了问题,这里所显示的变压器没有那样大的电流,只要理解了原理,根据需要更换大容量的变压器就可以了。

为了电路的安全,可以安装保险丝,也可以考虑安装电流限制电路,这要根据目的和喜好来决定。

变压器可以另外准备,也可以不用这里示出的倍压整流,而是制作30V程度的二个线圈,分别施加全波整流,这样做确实能够得到更大的电流,这也要根据目的和喜好来决定。

在VR_1,VR_2上安装旋钮,配以电压刻度,使用的时候就更加便利。

开始电路的试运转,流过电流,确认安装了IC的散热器的发热情况。无论在怎样的运转条件下,都要考虑发热量最大的元件,确认其发热的情况就可以。



使用感光底板的印制电路板的制作方法

1. 绘制电路图。

2. 以电路图为基础描画原图尺寸大小的图形图。

3. 在透明的塑料膜上用刻字机制作原图尺寸大小的阴膜。

4. 原图尺寸大小的阴膜制成后,将阴膜重叠在感光衬底上,用玻璃夹持,在荧光灯下使它曝光。荧光灯是40W程度,离灯管距离10～15cm左右,曝光时间10～15min程度。

5. 曝光结束后,用显影液显影,图形以外的表面涂料被完全溶解。在铜箔的表面上留下图形。

6. 用氯化铁溶液腐蚀衬底,图形以外的铜箔被溶解。将溶液温度上升到35～40℃能够加快腐蚀速度。

7. 使用细的水砂纸一边水洗一边将图形磨光。

8. 在图形面上涂上清漆(已有相应商品大量上市)

9. 进行打孔加工,根据需要钉上铆钉等。

虽然经过以上工序就能够完成印制电路板的制作,但是,在实际制作时经验是十分重要的,只有经过多次失败反复练习才能成为行家里手,请不要害怕失败,坚持练习下去。

当我们把目的定为电子电路实验、研究用的电源时,设计者可以自由地按自己的想法将它放入机壳内,安装电压表、电流表……考虑将其作成便利的工具的制作方法,那是十分有趣的。

3 镍镉电池用500mA恒流式充电器的制作

有各种各样形式的镍镉蓄电池(一般简称为镍镉电池)正在普及中,其中最普及的是与单3干电池同样形状的镍镉电池.让我们试一下它的充电器.

镍镉电池的性质和充电器

单 3 型(干电池的情况下称作 SUM-3 型)的镍镉电池称作 KR-AA 型。

KR-AA 型　　额定容量：450mA・h　尺寸：外径 14.5mm,高 50.5mm
　　额定电压：1.2V

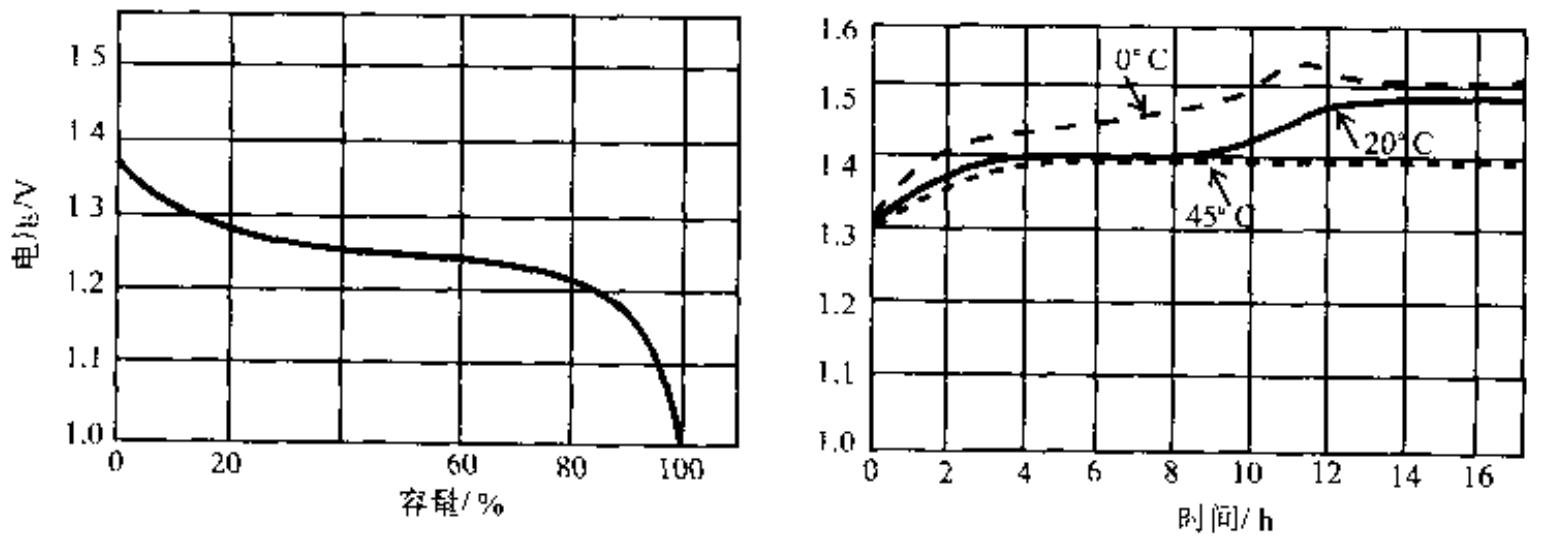
这种电池是密封型,与单 3 干电池的操作完全相同,非常方便,但是,它的充电却十分麻烦,这是一大难点。作为充电方法,要求做到：

(1) 一般充电型以 10h 的比率进行。

(2) 急速充电型以 5～6h 的比率进行。

(3) 短时间充电型以 1h 的比率进行。

因此,在计划制作充电器的情况下,以能够对应最高的 1h 比率为目标进行



(a) 20°C,以10小时比率放电特性的一个例子　　(b) 以15小时比率充电特性的一个例子

图 1　镍镉电池的特性

制作。

图 1(a)、(b)是参考某厂家资料的概图，虽然数据不是严密的，但是从中可知道电池的性质。

(1) 观察放电特性，容量从 20%放电到 80%的情况下，电压仅仅从 1.28V 下降到 1.23V，作为电池具有优秀的性质，但是，反过来看，仅仅从端电压看时，判断容量究竟放电到了什么程度？就是说，判断剩余容量还有多少十分困难。

(2) 观察充电特性，从端子电压判断充电是否结束十分困难。而且，由于温度的关系，端子电压差别很大，其结果，就是没有简单的知道充电已经结束的方法。

在计划制作充电器时，首先必须充分把握镍镉电池的这种性质，再进行设计。

A 简易型恒流充电器的制作方法

〔规格〕 充电电流 0～500mA 可变，恒流方式
电　　压 最大 16V 能够用到额定值 12V
电　　源 AC100V 60Hz/50Hz

部　件

T	初级 AC100V 60Hz/50Hz，次级 16～18V，0.5A 以上
S	开关 AC100V，5A 程度的开关
N(r_0)	氖灯，带有 R_0(50～100kΩ)，AC100V 用
D_1，D_2，D_3，D_4	硅整流器 100V，1A 程度
D_5	稳压二极管(恒定电压二极管)RD-7A 相当品(约 7V)
r_1	1.5kΩ　1/2～1W
r_2，r_3	10kΩ　1/4W
r_4	100Ω　1/4W
r_5	5Ω、5W 以上，可以切割镍铬合金线制作，如有可能也可用珐琅电阻，胶接电阻
VR_1	50kΩ、B 型
OP 放大器 IC	741 型，通用品，任何厂家都可以
Tr_1	2SA495 或者相当产品
Tr_2	2SB434 或者相当产品，安装在底盘上或者散热器上
DC 电流表	500mA(0.5A)
C_1	470μF/25V 或者 1000μF/25V
C_2，C_2'	30μF/16V 或者 50μF/16V(C_2'不必要)

电路及其要点

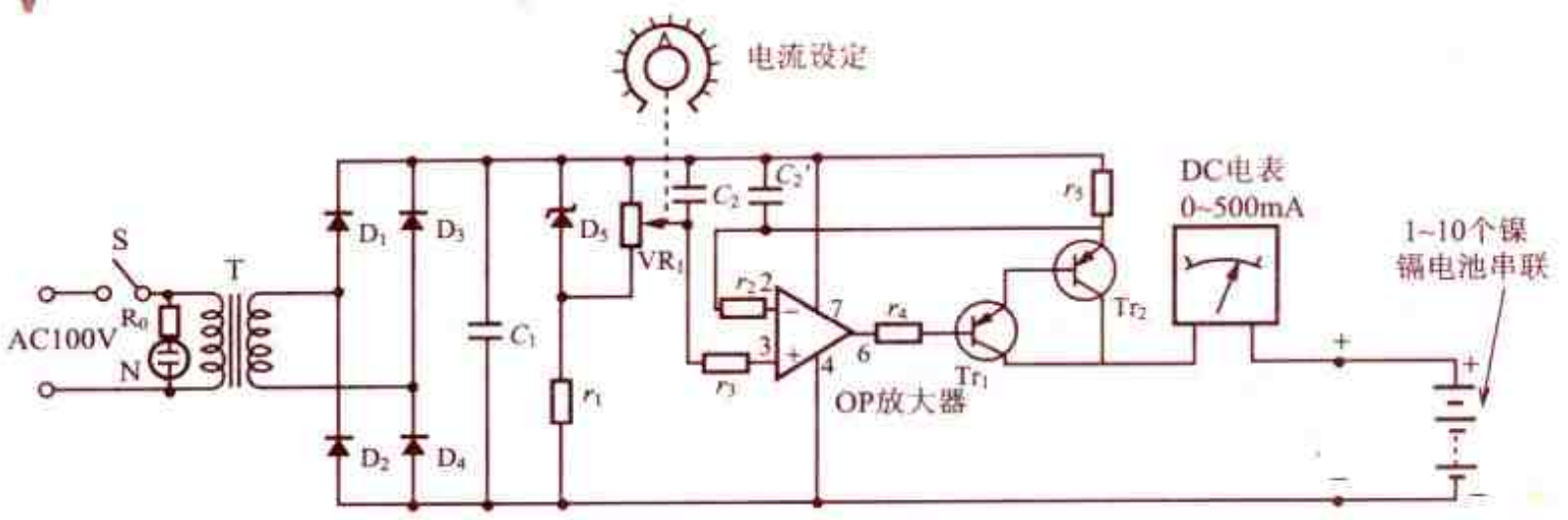
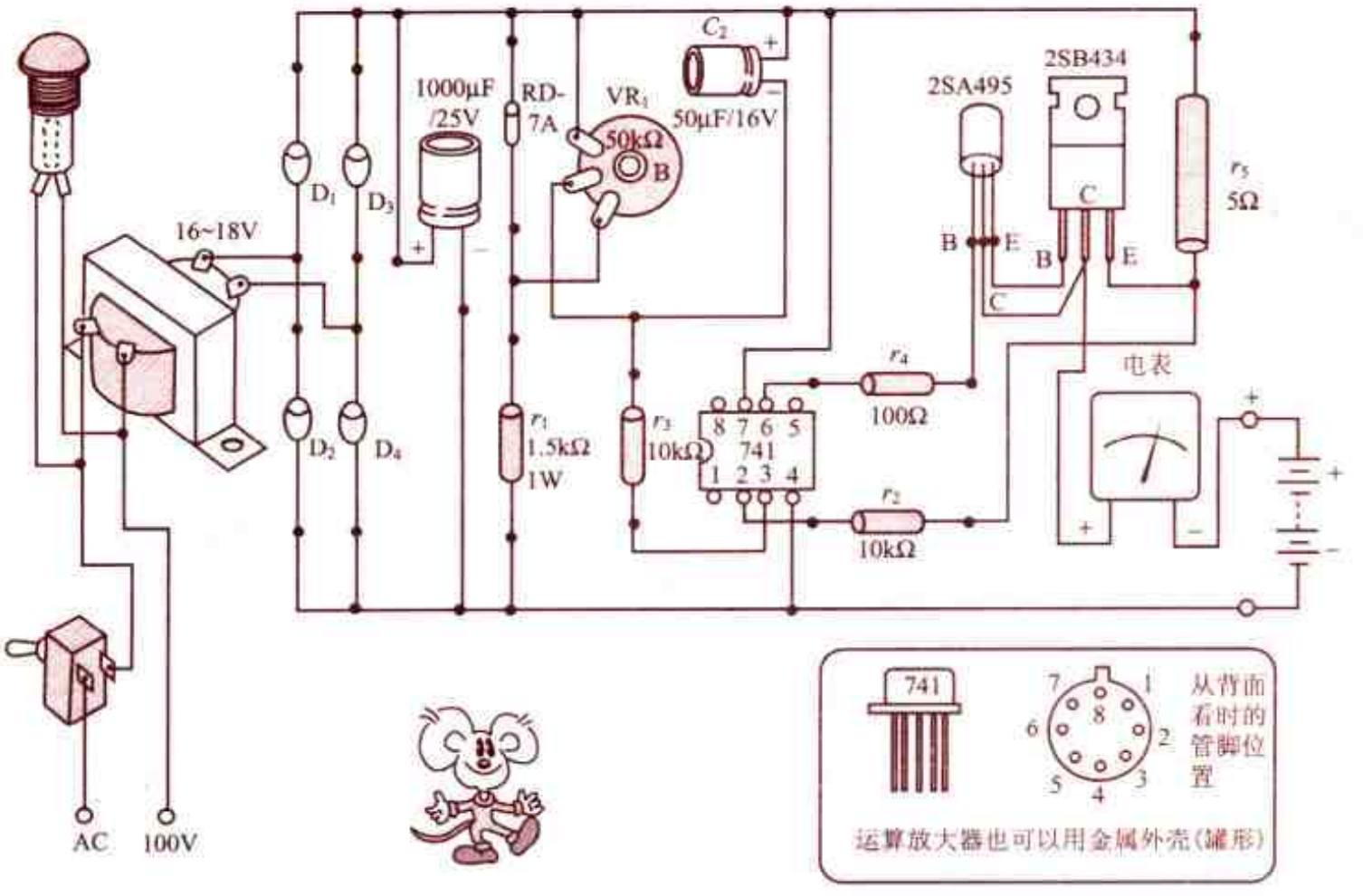


图 2　简易型恒流电源的电路图



晶体管的额定规格			
2SB434 低频功率放大用		2SA495 高频放大高速开关用	
V_{CBO}	−50V	V_{CBO}	−50V
V_{CEO}	−50V	V_{CEO}	−50V
V_{EBO}	−5V	V_{EBO}	−5V
I_C	3A	I_C	−150mA
I_B	0.3A	I_B	−30mA
p_c	25W	p_c	400mW
H_{FE}	40(最小)	H_{FE}	70(最小)
(V_{CE}=−5V, I_C=−0.5A 时，安装在底壳或者散热器上)			

图 3　实物布线图和晶体管的额定值

现在，让我们开始充电器的设计吧！

（1）设定在恒流方式下，是以几毫安、流通几小时、进行几毫安·时的充电的方法。

（2）电池虽然可以是1个，但是，要设定能够最多充电10个串联电池（额定12V）。此外，在最初的简易型中不能进行充电已经结束的判断。

图2是电路图，图3是它的实物布线图。

电路的工作原理

现在，详细分析电路的工作原理（参见图4）。

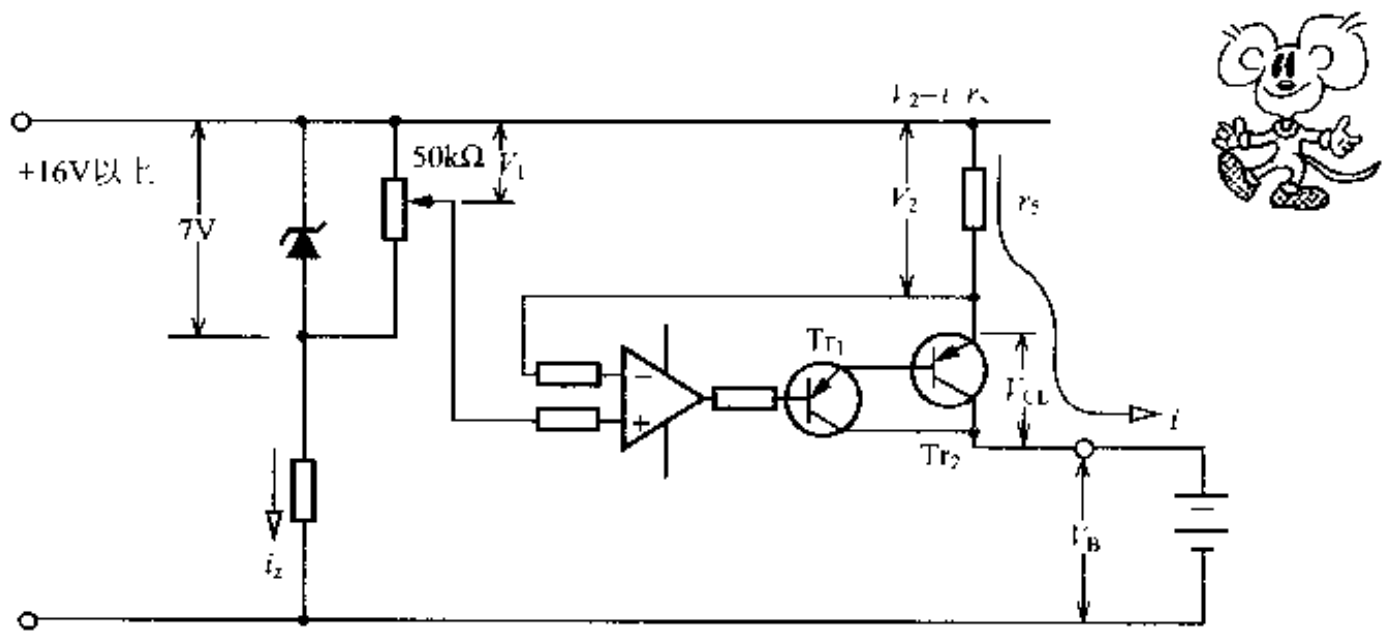


图4　电路的工作原理

（1）将电源整流，制作DC16V以上20V程度电压的电源。

（2）使充电电流流过r_5（5Ω）及晶体管到电池。取出在r_5上产生的电压V_2，在OP放大器IC741上将V_2与设定值V_1（恒电压）进行比较，如果存在差值将差值放大施加在晶体管的基极上，进行控制使得V_1和V_2相同。

（3）如果i被规定，则电源的16V以上的电压

V_2……r_5的电压

V_B……电池的电压，随充电有若干变化

V_{CE}……剩余部分全部接受

（4）当电池是1个的情况下，V_B约为1.3～1.4V，当电池是10个串联的情况下，约为13～14V。因此，当i被规定（由VR1的V1规定），一旦电池的数目确定后，由于V_2用i规定，剩余部分全部被晶体管的V_{CE}接受。这些就变成热。

现在，最大条件是：

电源的直流电压 16V

电池 1 个，因此，V_B 是 1.4V

设电流为 0.5A，则 $V_2=5\Omega\times0.5A=2.5V$

因此，$V_{CE}=16V-2.5V-1.4V\approx12V$

晶体管的发热量为：$12V\times0.5A=6W$

由于从晶体管产生 6W 的热量，所以必须散热。但是，在制作的时候，产品要能耐最恶劣的条件是头等大事。

为了散热，当然可以将产品放在盒子里或者底盘上，但是，在裸露进行实验时，至少要把它安装在 10cm×10cm，1.5mm 厚的铝板上。

(5) 晶体管电路的设计(参见图 5)

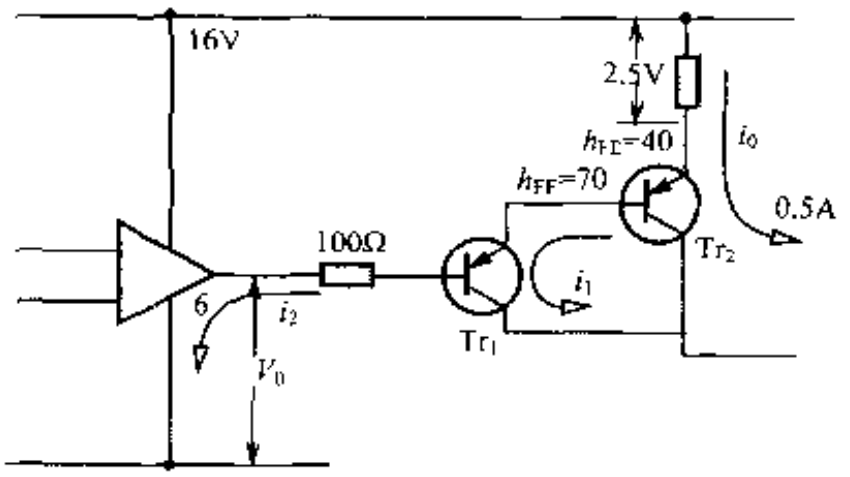


图 5　晶体管电路的设计

① 设流过 Tr_2 的集电极的电流 $i_0=0.5$(A)，基极电流 $i_1=0.5\div40=12.5$(mA)(设 H_{FE} 为 40)。

② i_1 是 Tr_1 的集电极电流，为了得到集电极电流 i_1，Tr_1 的基极电流 i_2 为：

$i_2=12.5(mA)\div70\approx0.1(mA)\cdots\cdots100\mu A$(设 $H_{FE}=70$)

③ 由于在基极上串有 100Ω 的电阻，为了流过电流 i_2，OP 放大器的输出 V_0 将发生变化：

V_0 的变化 $=100(\Omega)\times0.1(mA)=10(mV)$

OP 放大器的输出变化 10mV，就能够使 i_0 发生 0～0.5A 的变化，这可以说是极高的灵敏度。

④ 由于该设计是用厂家保证的 Tr_1、Tr_2 的 H_{FE} 的最小值进行计算的，当 H_{FE} 比该值更大时，灵敏度将更高，实际上，即使要求这样高的灵敏度也没有意

义，用现在这样的计算就可以。

⑤ 在该计算中，最重要的是核对集电极电流 I_C 和基极电流 I_B 是否超过了厂家指定的额定值。看一下前面所示的额定值就明白该设计是留有很大余地的设计。

（6）OP 放大器 IC 电路的思考（参见图 6）

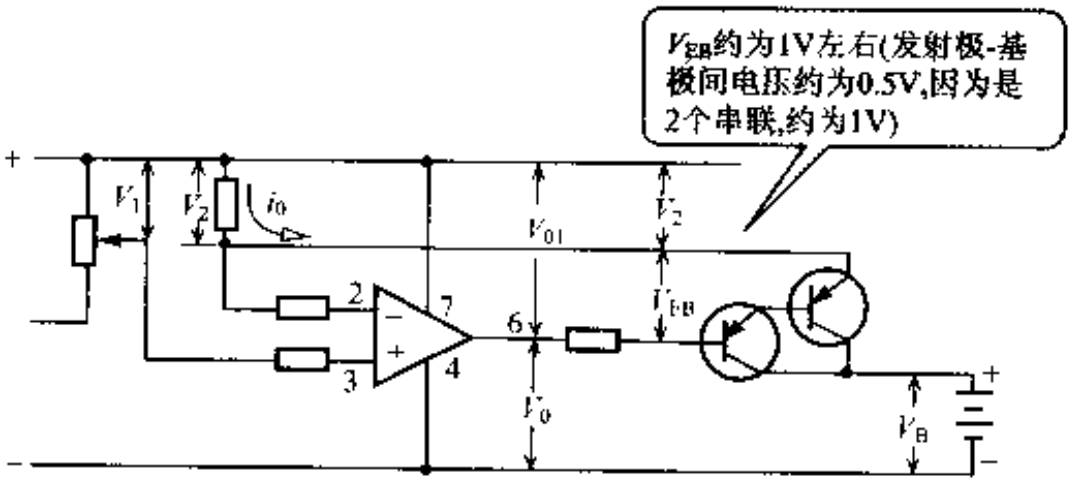


图 6　OP 放大器 IC 电路的思考

由于该电路的思考方法与标准电路相反，就有些难于理解。

① 比较 V_1 和 V_2，将 V_1 和 V_2 的差值放大（放大数千倍以上），输出 V_{01}。从电源电压减去 V_{01}，就得出 V_0。

② V_{01} 是 V_2（由 i_0 决定）和 V_{EB}（约 1V）的和，将 V_{01} 从电源的 16～18V 减去的值成为 V_0，用该 V_0 值控制晶体管。

这时，电源是在 16～18V 变动很大的值。V_{EB} 也是约 0.5(V)×2－1(V)，也是变动的值。因此，V_0 就成为从变动的电源减去变动的值而成的量，初看起来这样原封不动的使用，是不能进行正常的控制的，但是，实际情况不是这样，能够十分正确稳定地进行控制。

其原因在于 OP 放大器 IC 的放大率很大。由于在 OP 放大器上不加反馈的比较仪（比较电路）的使用方法中，放大率都在数千倍以上，一般为数万倍，上述认为不良的变动被该放大率覆盖，电路中看就完全消失了。

该电路使用方法如下：

① 接通电源 AC100V，将开关置于 ON；

② 连接电池，将输出的－连接到电池的＋上；

③ 调整 VR_1 旋钮，设定目的电流；

④ 存储这时的具体时刻，决定充电几小时；

⑤ 经过规定的时间，将电池取下；

⑥ 切断电源。

实际上，虽然也可以在连接电池后再接通电源，但结果是无论以怎样的顺序都是可以的，但是，在让没有经验的人使用时，还是要决定一个顺序，显示操作方法，指导正确的使用方法。

B　带有控制电路的恒流充电器的制作方法

在上述的简易型充电器上，追加电池的电压检测电路，当电池的电压上升到规定的电压后，再追加使充电电流降低到 1/10 的电路。

电路及其要点

图 7 是带有控制电路的恒流充电器的电路图。

(1) 电路的制作最好是在印刷电路板(图 8)上制作。参见图 9 的实物布线图。

(2) 简易型充电器也能够在印刷电路板上制作。对于简易型，不用的部件就不用安装，仅仅用连接线将 r_6 短路就可以了。

(3) 继电器的接点使用 B 接点(继电器 OFF 时连接的接点)。因此，当继电器 ON 时 r_6 50Ω 进入电路，VR_3 也进入电路。就是说，当电池的电压超过规定值(由 VR_2 决定)以上时，继电器 ON，r_6 和 VR_3 进入电路，使充电电流能够降低到 1/10。

(4) 电路的调整十分困难。

VR_3 的作用是，在充电中电流降低的同时，也使电池电压降低若干。这是因电池的内部电阻而下降的电压分量。因此，当继电器 ON，50Ω 插入引起电流降低时，电池电压只下降相当于电阻下降的额度，其结果是继电器 OFF。继电器一旦 OFF，50Ω 电阻就短路，电流增大、电压上升，继电器 ON。

由于这样的反复引起继电器 ON，OFF 的追逐动作。为了防止这种现象，插入 VR_3，如果继电器 ON，则使继电器工作的电压基准值下降，结果是，如果电压不大幅度下降，继电器就应该不 OFF。由此，有必要将 VR_3 设定为实验上的适当值。反复试验，找到最接近不引起继电器 ON、OFF 追逐的值。

(5) 如果进行各种各样的实验，一定能发现有趣的使用方法。

电路图

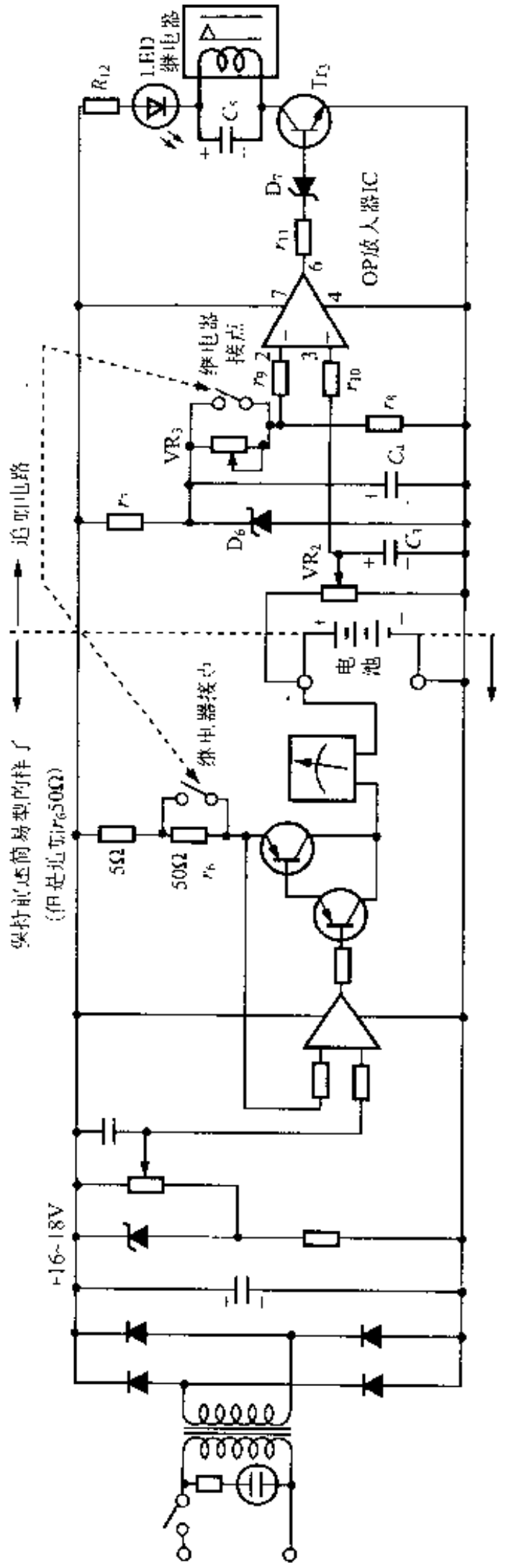
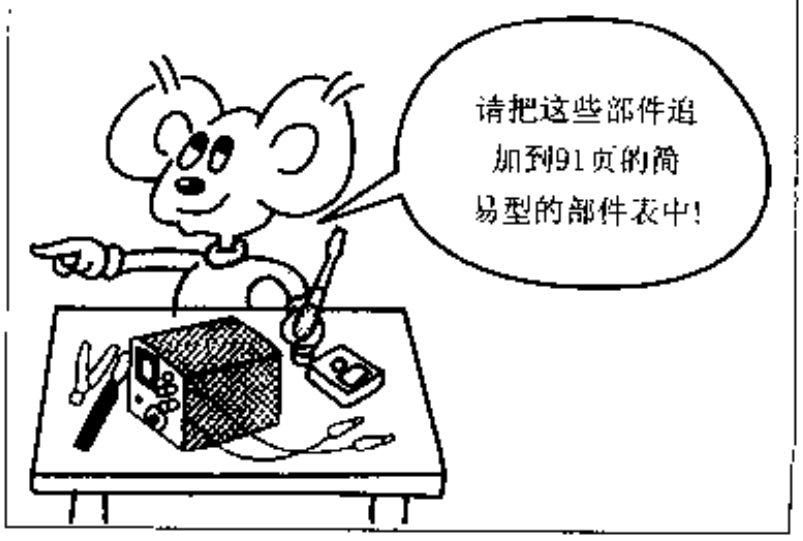


图 7　带有控制电路的恒流充电器的电路图

部　件	（追加部分）
D_6	稳压二极管（恒压二极管）与 RD-5A 相当的产品
D_7	稳压二极管（恒压二极管）RD-5A，或者 RD-6A，RD-7A 也可以
LED	通用品，最好是红色
r_6	50Ω 1W
r_7	1.5kΩ 1/2～1W
r_8，r_9，r_{10}	10kΩ 1/4W
r_{11}，r_{12}	500Ω 1/2W，因继电器的动作状况在 300Ω～600Ω 间变更试试看
C_3，C_1	10μF/16V～30μF/16V
C_5	100μF/16V
VR_2	50kΩ B 型
VR_3	10kΩ 半固定型，也可以是小型的印制电路板安装用
继电器	151 号线圈电阻 500～600Ω 或者相当产品，DC 12V 用（在 DC 12V 下通过约 10～20mA 电流的产品）有 2 组接点
Tr_3	2SC372，2SC1815 等的小容量通用品
OP 放大器 IC	741 型



印制电路板

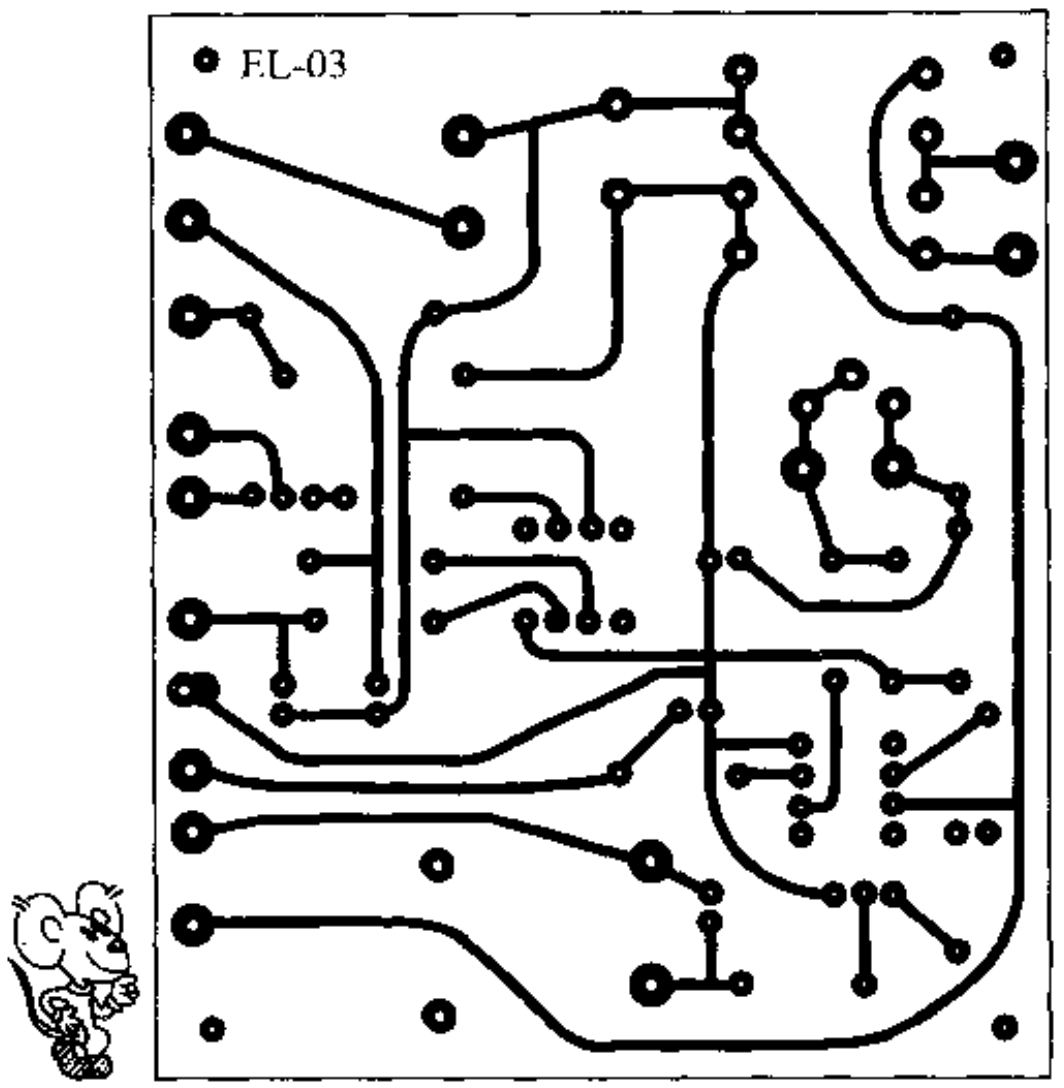


图 8 印制电路板图(原尺寸大小)

问题点和研究课题

(1) 如在叙述电池的性质时已说明的，用电压检测电池是否充电结束是十分困难的事情。因此，即使追加该电路，也不可能成为可以 100%信赖的实用的东西。

(2) 由于充电结束时的电池电压受温度的影响，就变得更加困难。

(3) 一般说，镍镉电池如果在充电时流过过大的电流，电池的温度会上升到 40℃以上，会对电池带来恶劣影响。因此，虽然最好追加温度检测电路和以它为基础的控制电路，但是，这样做就超出了作为实用装置的界限，进入了个人兴趣阶段，在这里我们没有涉及这一问题。

在本装置中，以下问题具有研究价值：

(1) 与定时器的组合。做些努力将能够设定 1～10 小时的定时器组合进

来，当经过需要的充电时间后，应能使它自动停止。

(2) 用传感器检测出电池的温度，在电路中组合进一种控制方法，当温度达到40℃以上时，该控制方法的电压使电流降低，当温度过低时，该电压又使电流再次返回到原来的位置。

该方法，当将检测电压的 VR_2 加入到温度检测的传感电路中时，电流控制电路基本使用相同的电路就应该成为实用电路。有兴趣的人请研究一下试试看。

实物布线图

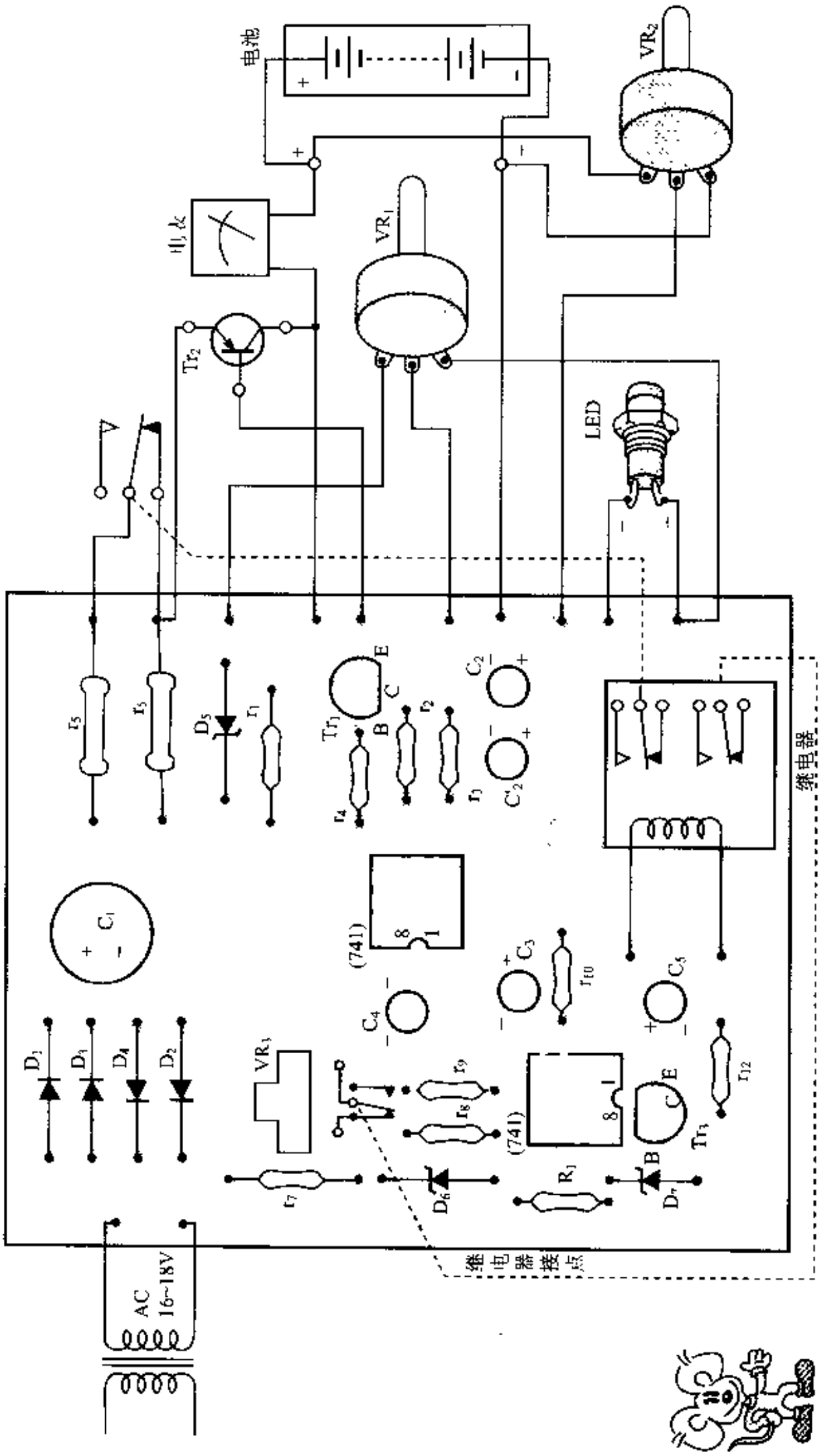


图 9　实物布线图

4 晶闸管式10A恒流型充电器的制作方法

制作6V或者12V蓄电池(汽车用)的充电器

[规格]

① 对象蓄电池　　6V或者12V达到120A·h程度

② 充电方式　　恒流式　0~10A可变

③ 电源　　AC100V, 50Hz/60Hz

④ 晶闸管　　SCR混合桥

⑤ 更换变压器, 不仅可以制作12V , 也能够制作24V, 48V

恒流型充电器及其电路

大体的目标是实验制作能够对 12V, 120A · h 的大型汽车用蓄电池充电的充电器。当考虑对 120A · h 的蓄电池充电时，在 10 小时率的情况下，虽然充电电流为 12A，但这里设定为 10A。蓄电池的充电特性如图 1 所示。

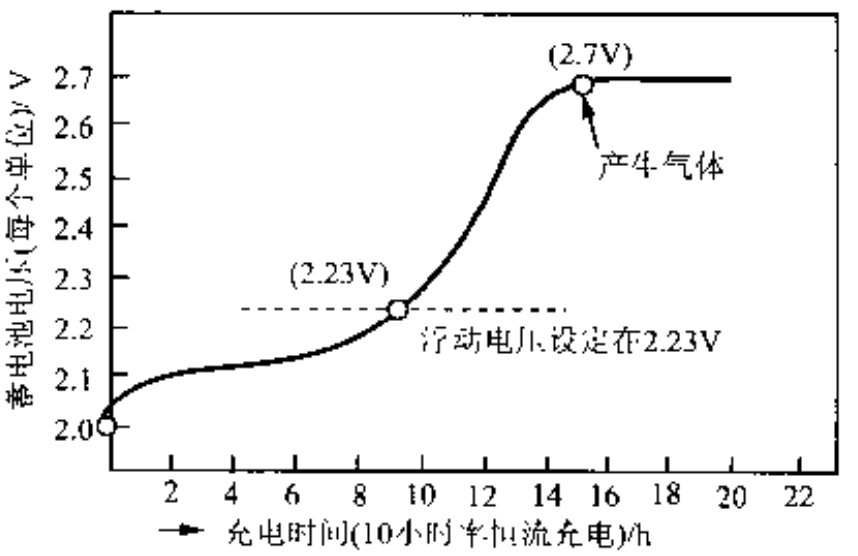


图 1　蓄电池的充电特性

设从 1.8～2V 左右开始充电，约 10 小时达到 2.23V，这时虽完成了规定的充电，但实际上还不够，还需要再稍稍进行追加充电。一旦进入追加充电领域，电压就急速上升，终于上升到 2.7V，产生大量的气体。在 12V 的蓄电池中：

$$2.7(\mathrm{V}) \times 6 = 16.2(\mathrm{V})$$（12V 是 6 个串联）

因此，需要制作在 10A 下，具有充电电压 16.2V 的供给能力。

电路如图 4 所示，分晶闸管(SCR)电路和控制电路 2 部分制作。

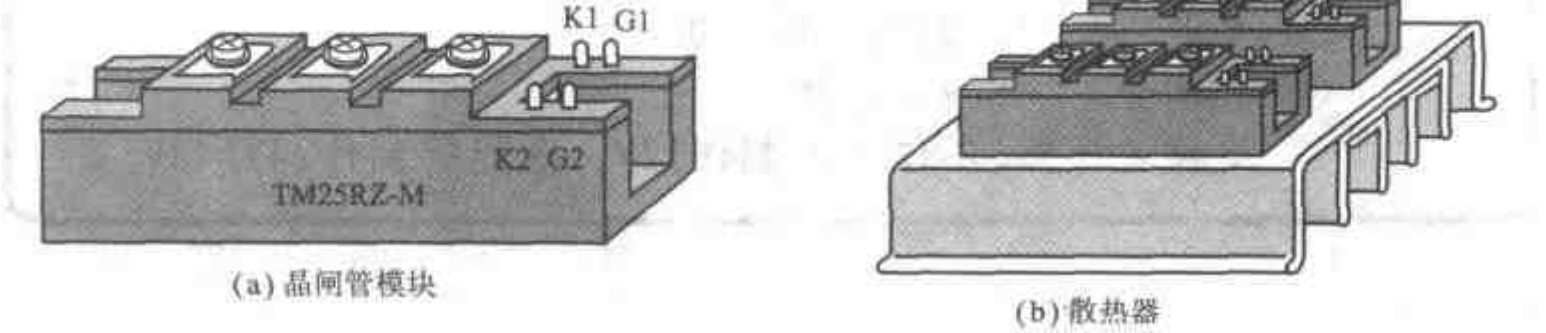
正如一看到晶闸管的电路就明白的那样，仅仅是在混合桥上加上了电表。由于是充电器所以不用平滑滤波电容。

控制电路是使用 UJT 的位相控制电路。检测出充电电流，控制位相控制电路使得充电电流维持一定。

工　作

(1) 将充电器安装在大型盒子里即可，作成便携式能够移动更好。这也与变压器的容量有关，由于变压器发出相当的热量，最好能够通风冷却。

(2) 由于晶闸管模块是绝缘型，可直接固定在散热器上(参见图 2)。



(a) 晶闸管模块　　(b) 散热器

图 2　晶闸管模块和散热器

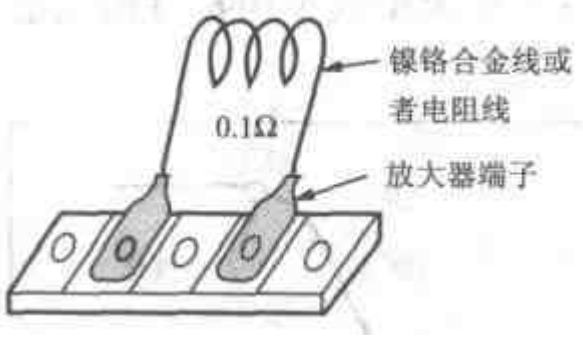


图 3　考虑散热的工作

散热器的容量为 10(A)×1～2(V)＝10～20(W)就可以，若要留一点余地，可使用 30W 的散热器。

大型的盒子使用铝板或者铁板，如果板较厚，可以直接固定在它上面。

(3) r_1 的 0.1Ω 大约是 0.1Ω 即可，由于通过 10A 的电流会产生热量，所以必须考虑散热问题。

由于用万用表不能测量 0.1Ω 的电阻，适当制作电阻，使之当电流为 10A 时，用万用表测量它的电压，通过调整使它的电压达到 1V 程度即可(参见图 3)。

部 件

T_1	初级 AC100V 次级 18～20V(12V 蓄电池的情况下)
T_2	初级 AC100V 次级 20V 0.1A
晶闸管模块	使用 2 个三菱 TM25RZ-M 或者相当产品 25A 400V 也可以使用 SCR,硅整流器的混合模块,其他的相当产品
r_1	约 0.1Ω 耐 10A 电流的电阻,可以用电阻线或镍铬合金线制作
r_2	200Ω 1/4W
r_3	560Ω 1W
r_4	2kΩ 1/2W
r_5	1kΩ 1/4W
r_6	3kΩ 1/4W
r_7	500Ω 1/4W
C_1	200μF/16V
C_2	0.1μF,聚酯树脂或者薄膜电容器,耐压 50V
VR_1	470Ω 半固定式,安装在印刷电路板上
VR_2	1kΩ B 型
D_1～D_4	如果是硅整流器 1A/100V 类似品,哪个厂家的都可以
D_5	稳压二极管 16V 1W 型 IS231 或者相当产品
Tr_1	2SA1015 PNP 或者相当产品
UJT	2SH20 或者 2SH21
D_6,D_7	硅整流器 1A/100V
T_3	脉冲变压器,无论哪个厂家的都可以 〔例〕P-3,MTPL-8,TP-1A 等因厂家不同名称不同
散热器	由于是安装晶闸管模块的散热器,所以尽量使用大型的
其他	开关,保险丝,氖灯,终端等
电表	DC10A,DC20V

电路图

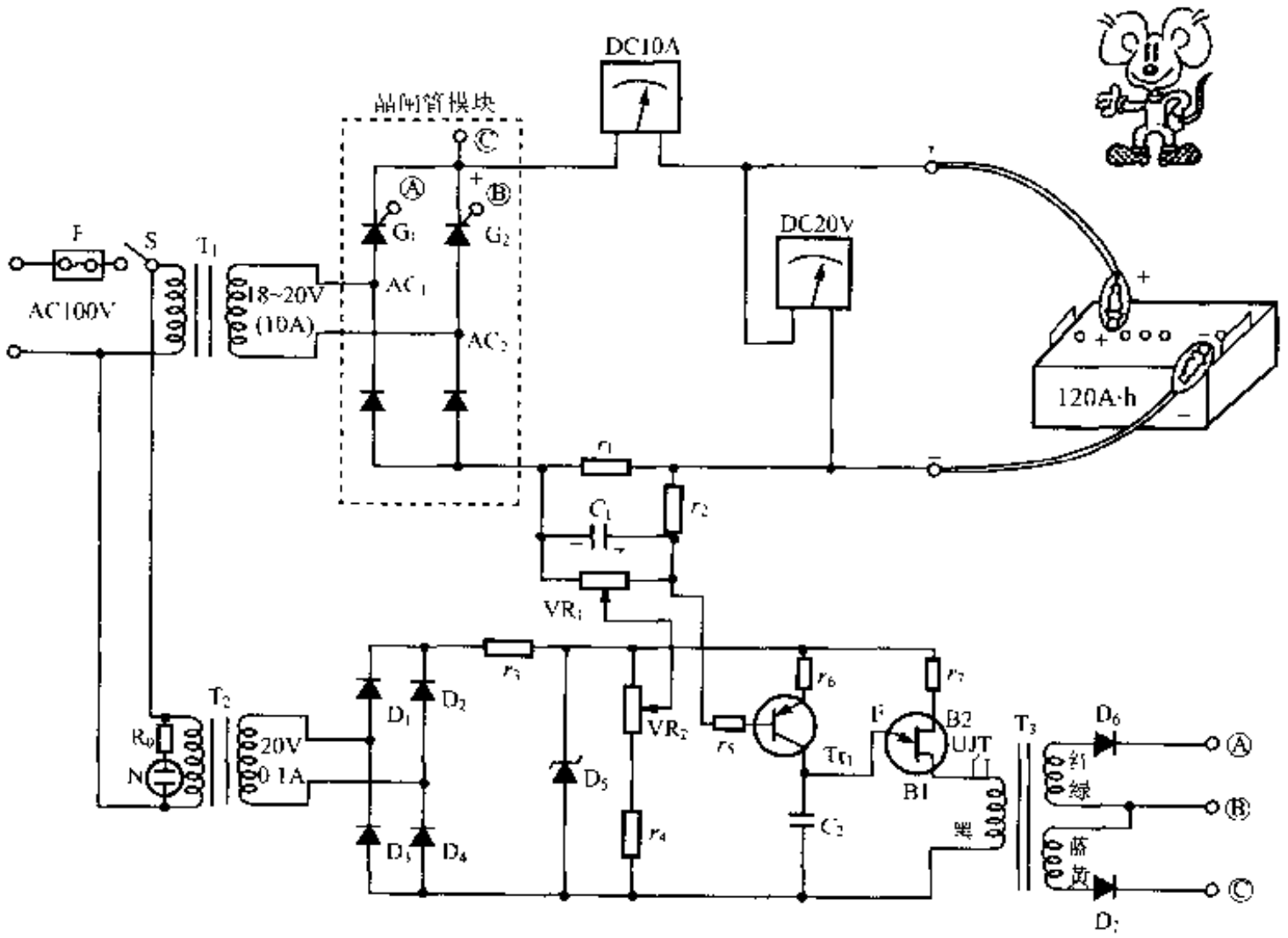


图 4　恒流型充电器的电路图

印制电路板

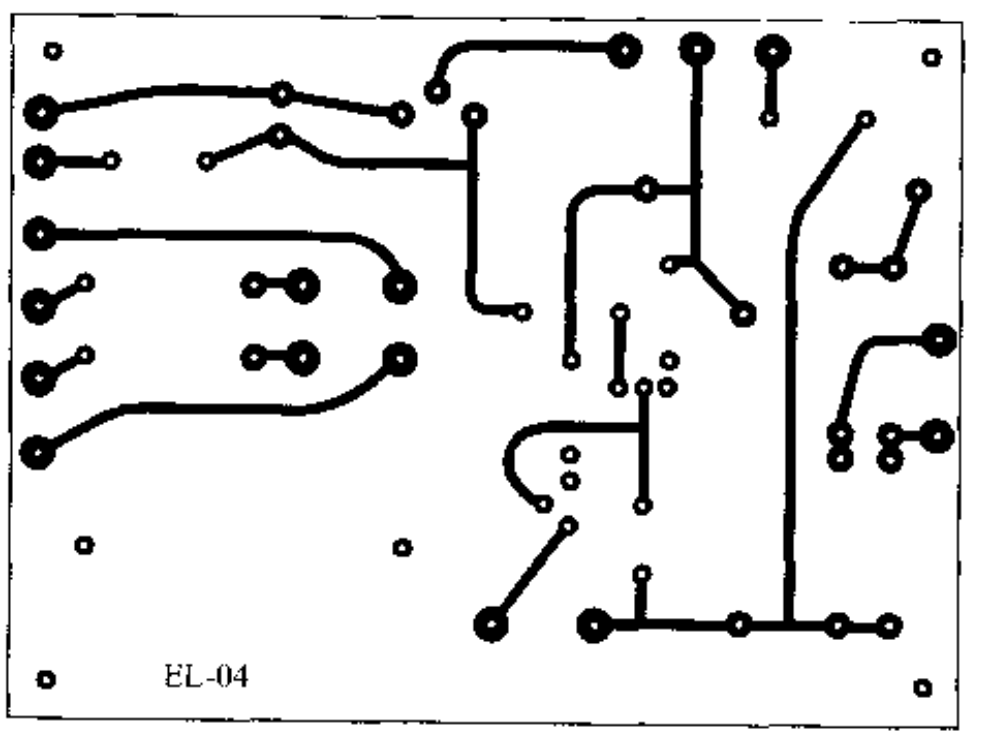




图 5　印制电路板图(原尺寸大小)

实物布线图

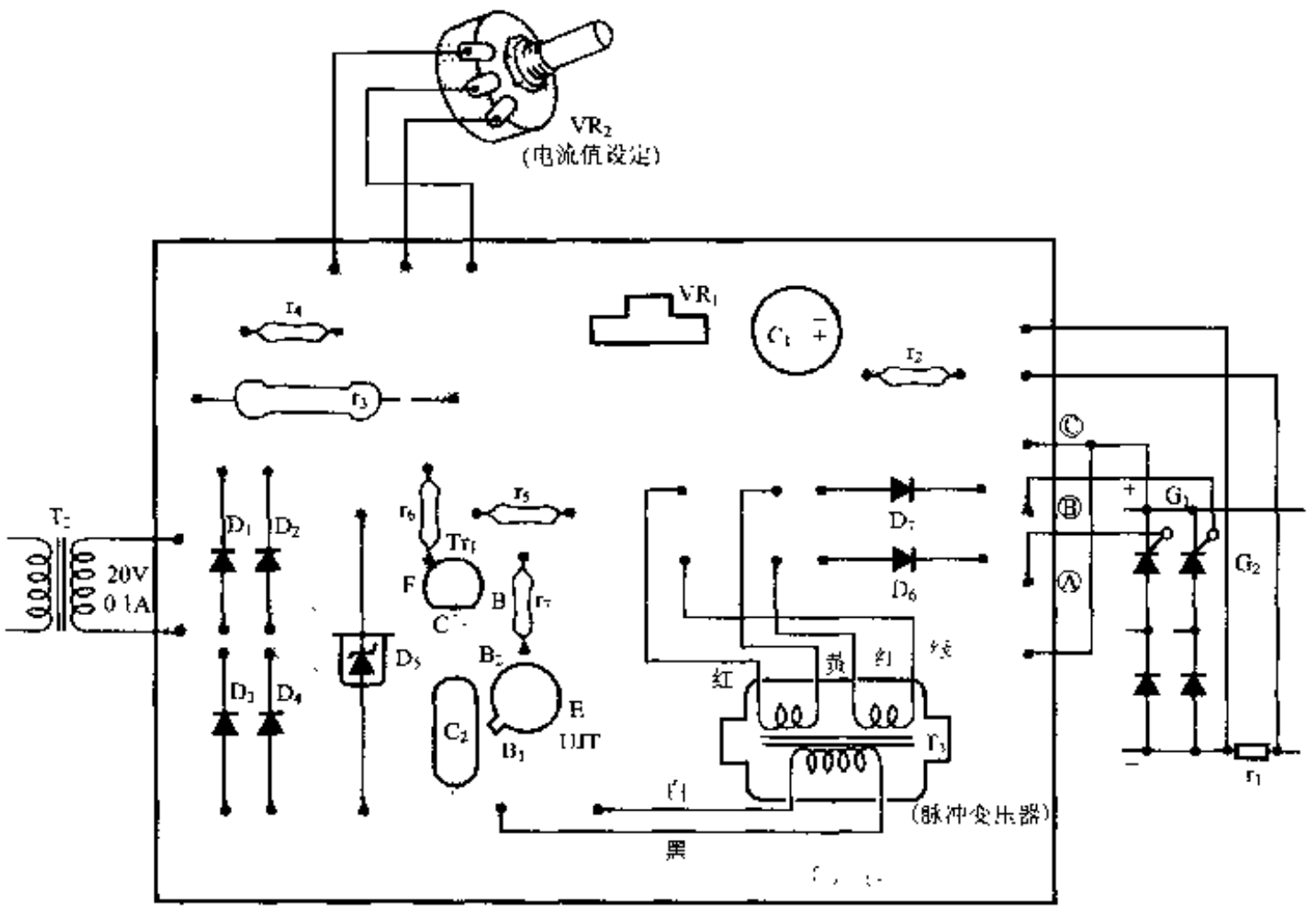


图 6 实物布线图

电路分析

(1) 晶闸管的主电路

如图 7 所示，混合桥的电流流通方法是根据 AC 电压的相位，使图 7(a)，7(b)所示的电流流通方法交互地反复进行。

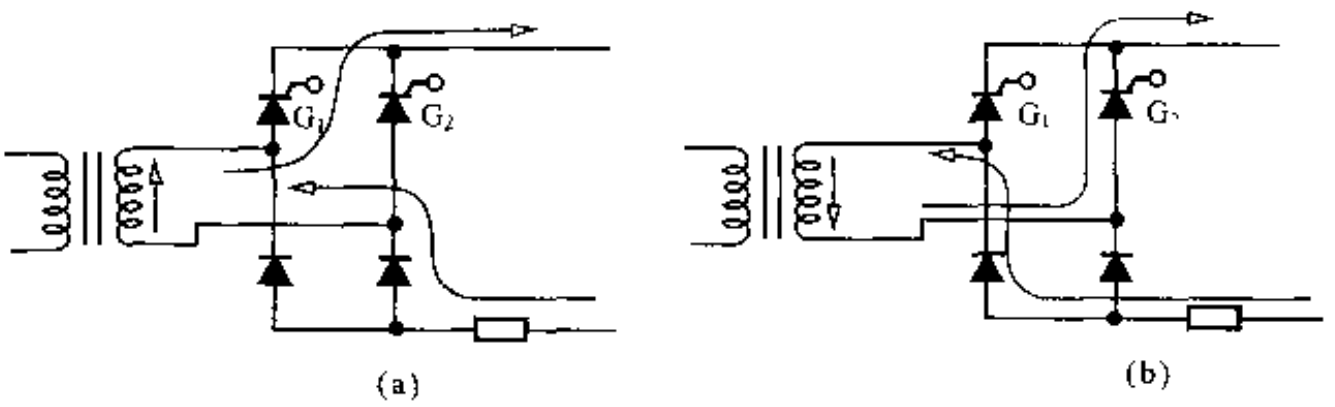


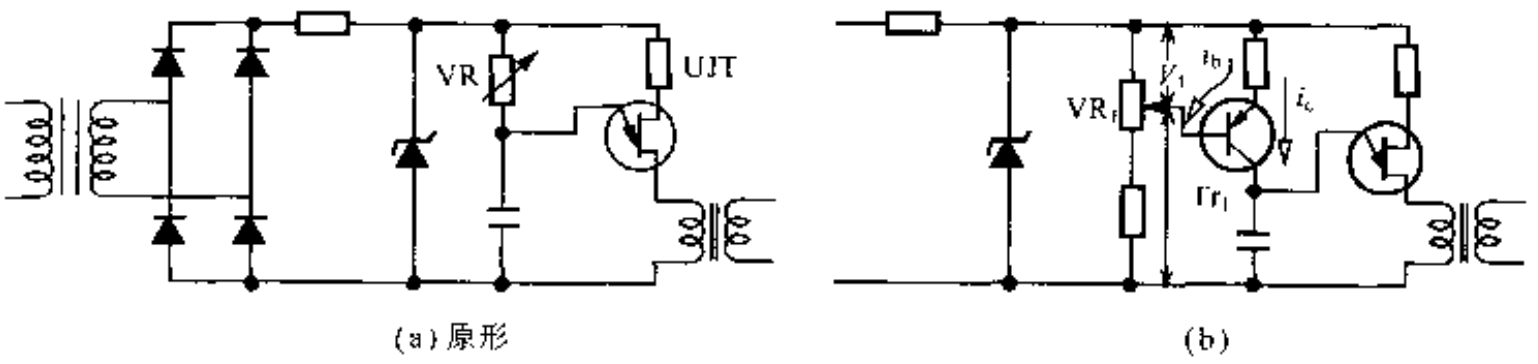
图 7 混合桥的电流流通方式

虽然在 G_1 和 G_2 上并联地同时施加触发脉冲，但是，在 AC 电压的反相不触发，仅仅在正相触发，因而成为图示的形状。

触发虽然是用脉冲变压器将 UJT 的振荡脉冲绝缘，分成两组施加的，如果是 30A 的晶闸管，这样用 UJT 的脉冲就能够充分触发。

(2) 控制电路

图 8(a)是基本的原形电路，不管哪本教科书都是这样表示的。如图 2(b)所示，用晶体管(PNP 型)代替 VR，改变基极电流，使电流 i_c 为 i_b 的 H_{FE}(电流放大率)倍。其结果，虽然与原形的 VR 相同，但是，在原形中是用手旋转 VR 进行控制，而在图 8(b)中则能够用电压 V_1 控制。



(a) 原形　　(b)

用晶体管代替 VR，使用它的发射极-集电极间的电阻。由基极电流 i_b 改变电阻值，用 VR_1 改变 V_1 的电压，由电压 V_1 改变 i_b。

图 8　控制电路的考虑方法

由于在 Tr_1 中使用的 2SA1015 的 H_{FE} 是 50～100 左右，i_c 是数 mA，i_b 是 i_c 的 1/50～1/100，为数 10μA。

图 9 示出了一个实用电路的主要部分。使 10A 的充电电流流过电阻，产生

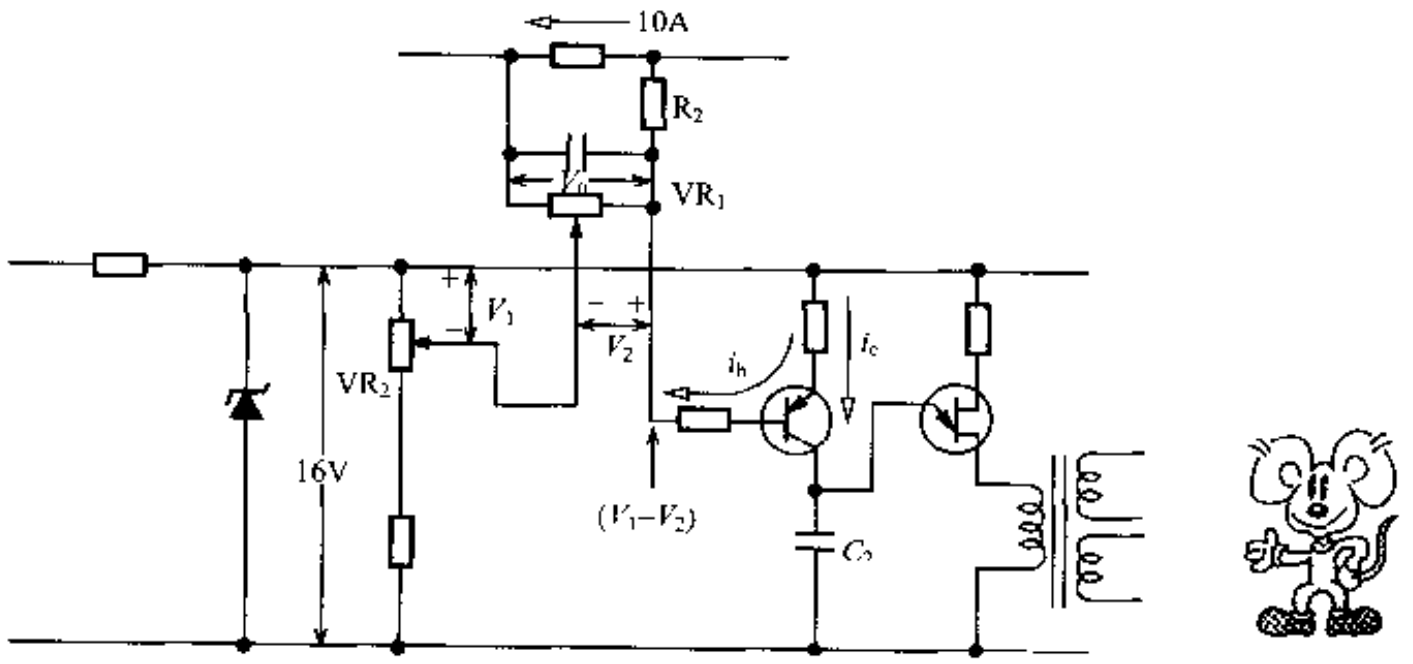


图 9　实用的控制电路

电压 V_0。如果电阻是 0.1Ω，则 V_0 为：

$$10(A)\times 0.1(\Omega)=1(V)$$

在 10A 下 V_0 是 1V，因此，在 1A 下就是 0.1V。将该电压用电容平滑滤波，再用 VR_1 适当的分割电压，取出电压 V_2。将 V_2 串联连接在晶体管的基极上，结果是从 V_1 以除法运算的形式流出电流 i_b。

VR_2 是电流设定用，虽然规定了 V_1 就有电流 i_b 流过，使 i_c 流过就能决定振荡电路的位相，施加触发充电电流流过，则产生 V_2，从 V_1 作除法运算，使相位延迟充电电流下降。预先将 V_1 和 V_2 设定适当的比例，其结果是能够在某一电流值下达到平衡。

设定了 V_1 并固定下来，改变充电电流时，例如，使电流下降 V_2 就变小，i_b 增大 i_c 就增大，相位加快则使充电电流增大。反之亦然，由 V_1 和 V_2 的决定方法和晶体管的 H_{FE} 决定某一放大率，在放大率很大的情况下，理应能够保持恒定电流。

运转，调整

(1) 该装置的调整方法是，大体将 VR_1 设定在中间附近开始运转，观察一下保持恒定电流的情况，就能立刻找到合适的值。不明白的时候，将它设在中间值就可以。

(2) 观察晶闸管触发的方法

① 将Ⓐ去掉运转一下试试看——虽然成了半波整流，但是电流能流通。

② 去掉Ⓑ，连接上Ⓐ，再运转一下试试看——同样也是半波整流，但是电流能流通。

如果是上述情况则运转正常，当某一方没有施加触发时，脉冲变压器的输出的相位相反。例如，去掉Ⓑ仅仅Ⓐ运转时，在不施加触发的时候，使红和绿线反转。

(3) 观察变压器和晶闸管模块的发热情况，检查结构是否合适，没有问题即调整完毕。

5 5V/2A开关式稳压电源(使用μA723)的制作方法

通用的稳压控制用IC μA723正在普及，这里介绍使用μA723制作开关式电源.

[规格]

输入	AC100V通过变压器使之成为16V
输出	DC5V　2A　(3~6V可变)
稳定度	负载电流在0~2A间变化时电压变化±0.1V程度

电路方式的要点

开关方式的特点是控制用功率晶体管的发热量小，这一点读者应该清楚，举例来说，即使我们现在制作的5V，2A程度的稳压电源，在已有的串联控制方式中，必须使用有数十瓦散热能力的散热器，而采用开关方式仅用数瓦的散热器就足够了(参见图1)。

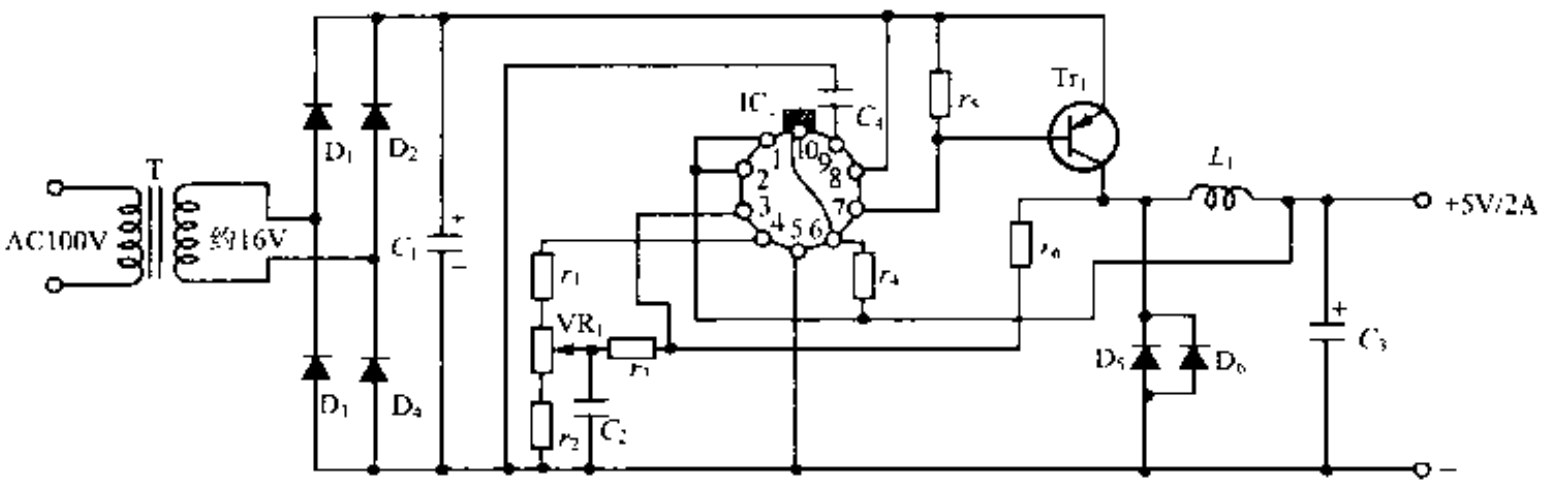


图1　开关式稳压电源的电路图

由于μA723是作为串联控制用稳压电源用IC而制作的产品，不是以开关为目的制作的产品，因而它不能与作为一般商品而制作的开关电源进行比较，

它的优点是电路简单制作容易。

图 2 示出包含 μA723 内部结构的电路图，这仅是原理图，不是制作用的电

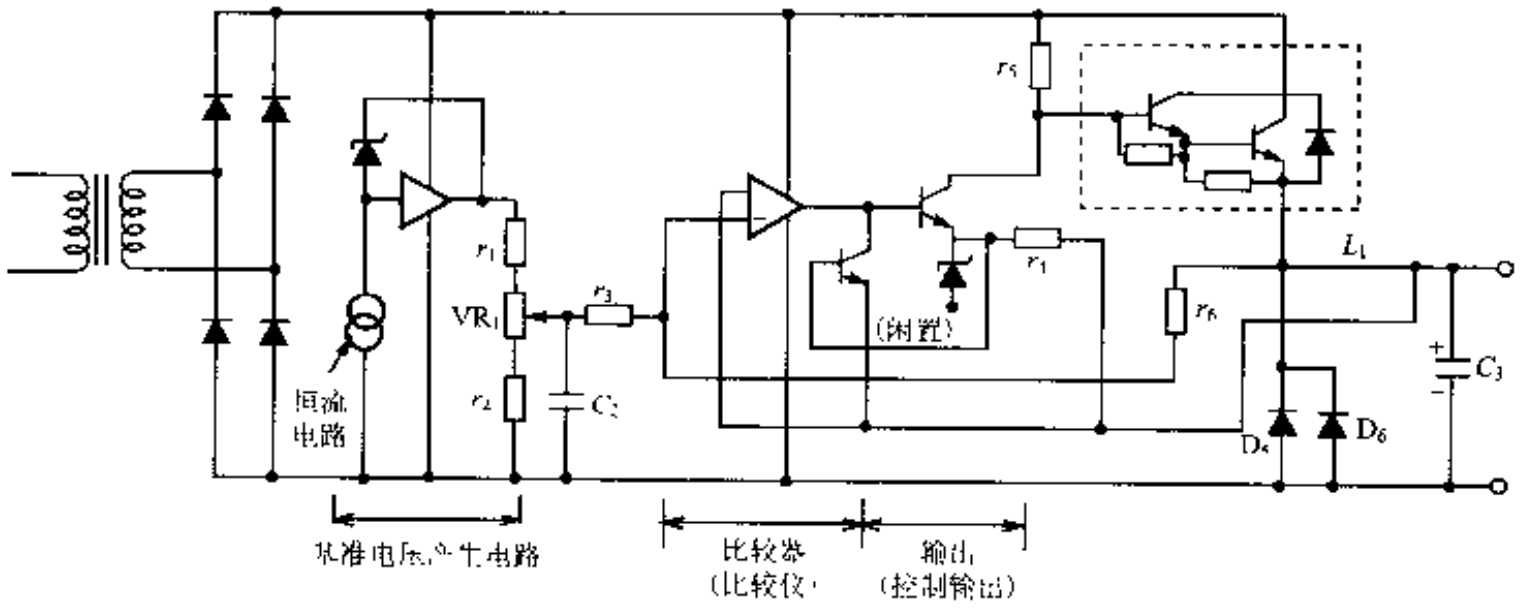


图 2　原理图

部　件	
IC_1	μA723 最好是金属密封型 10 根管脚的产品
Tr_1	2SB673 100V/7A 达林顿连接，相当的产品也可以
$D_1 \sim D_4$	硅整流器 100V 2A 的通用品
D_5，D_6	1S2757 500V/1A 高速用(快速恢复)，由于仅使用 1 个电流不足所以将 2 个并联，相当产品也可以
C_1	1000μF/16V，470μF 也可以
C_2	0.1μF 薄膜，聚酯薄膜等
C_3	470μF/16V，200μF 也可以
C_4	10pF 陶瓷，在 10～20pF 范围都可以
r_1	600Ω
r_2，r_5	3kΩ
r_3	1kΩ
r_4	50Ω
r_6	1MΩ
	以上电阻全部是 1/4W，各电阻值是大体的程度，也可以有若干差异。
VR_1	10kΩ B 型电位器
L_1	约 1～1.5mH(参照本文)
T	100V/16V 1～2A 程度的变压器，不是 16V 也可以(15～20V 左右)

路图。制作时要用图1所示电路。

μA723的内部由基准电压产生电路、比较器(比较仪)和输出用晶体管构成。如图2所示晶体管2SB673内部为达林顿连接。

开关的振荡是将L_1上产生的脉冲(开关的脉冲)通过r_6的1MΩ电阻,施加在比较仪的十输入(非反转输入)上,提供正反馈使之振荡。

实际上,开关的脉冲波由r_3,C_2的积分电路变换成三角波,与基准电压合成,施加到"+"输入端上,在"−"输入端施加输出电压,在这里进行比较,并控制开关输出的脉冲宽度。

L_1的值影响振荡频率。大体设定在1～1.5mH左右时,振荡频率大约是20kHz左右。

实物布线图

参见图4。

印制电路板

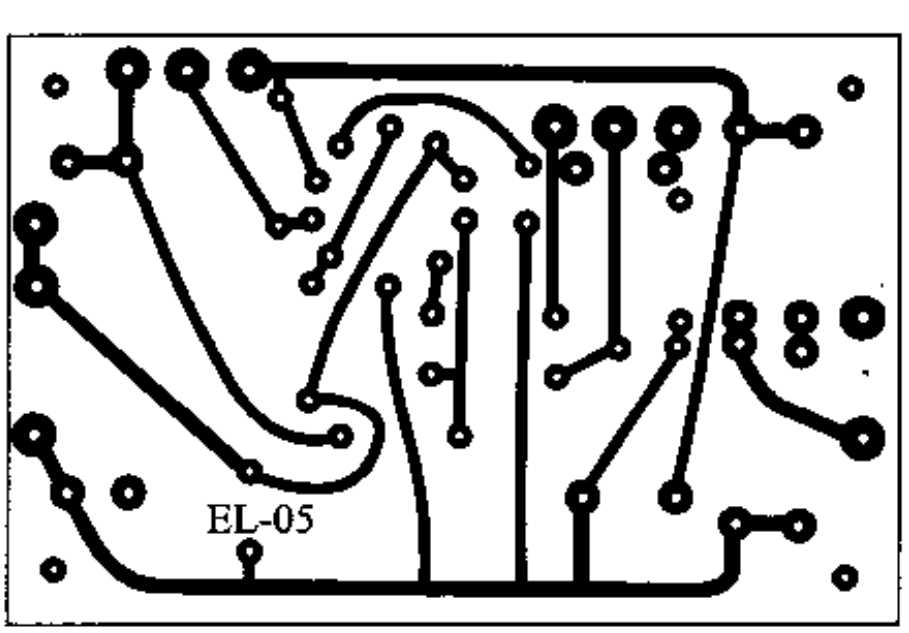




图3 印制电路板图(原尺寸大小)

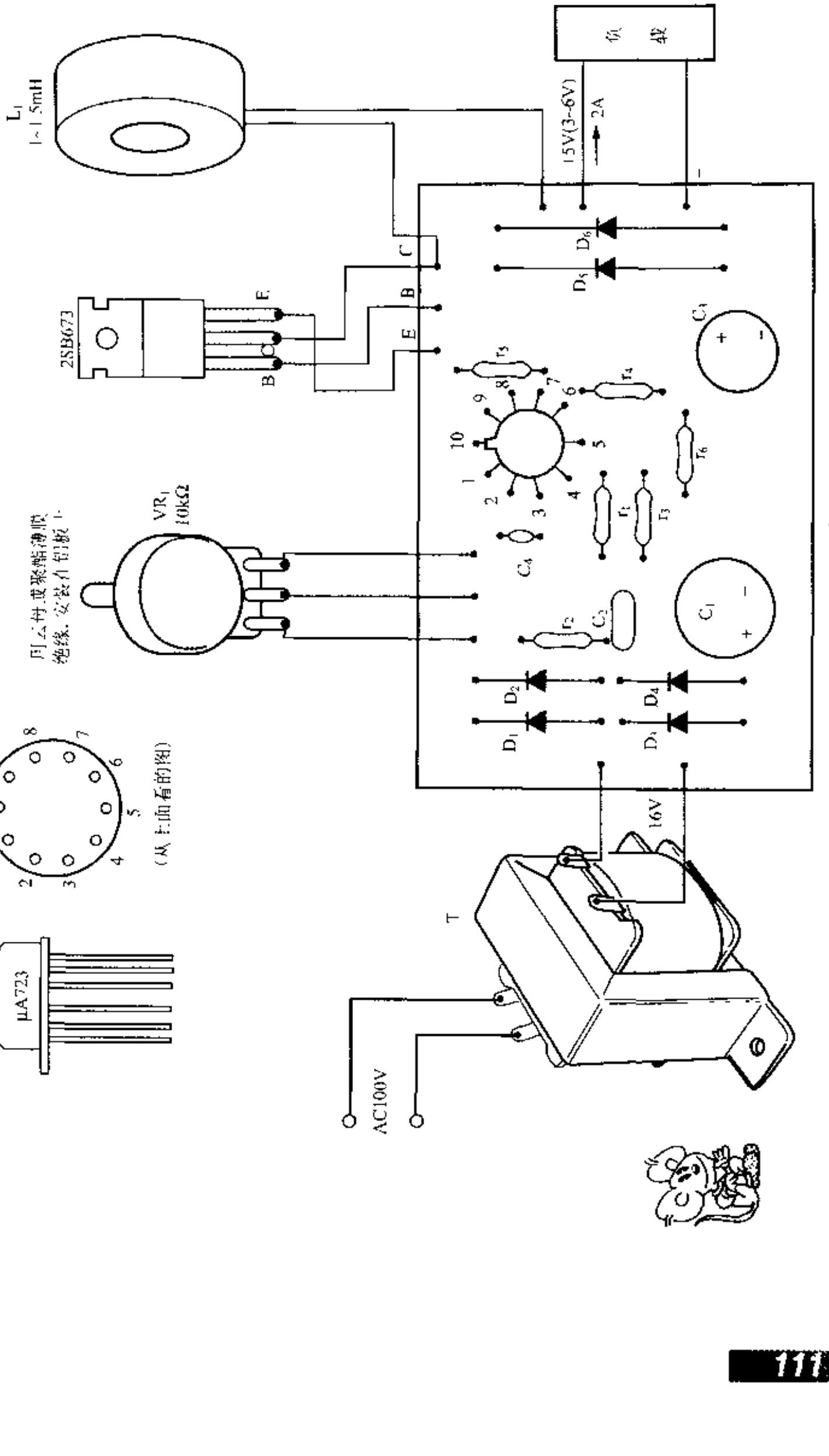

L1
1~1.5mH
负　载
15V(3~6V)
2A
+
-
D6
D5
2SB673
C
B
E
B
E
C3
r5
r4
r6
VR1
10kΩ
用云母或聚酯薄膜
绝缘，安装在铝板上
C4
r1
r3
C1
r2
C2
D2
D4
D1
D3
T
16V
AC100V
μA723
(从上面看的图)

图 4　实物布线图

制作方法要点

（1）晶体管的散热板

由于晶体管 2SB673 在负载电流为 2A 时产生数瓦的热量，需安装在最低限度 5cm×10cm×1.5cm 厚的铝板上。当然，使用散热器更好，但是从实验角度看以容易观看为主。

（2）L_1 的制作方法

当制作开关电流的时候，最成问题的是扼流线圈 L_1 的制作方法，由它决定性能。一般情况下，是用铁氧体磁心制作 L_1 的，这里我们不用铁氧体磁芯，使用空心线圈制作 L_1。L_1 制作成图 5 的形式。

最简单的方法是制作绕线线圈，不管使用什么方法都可以，关键是制作成环行体就可以。

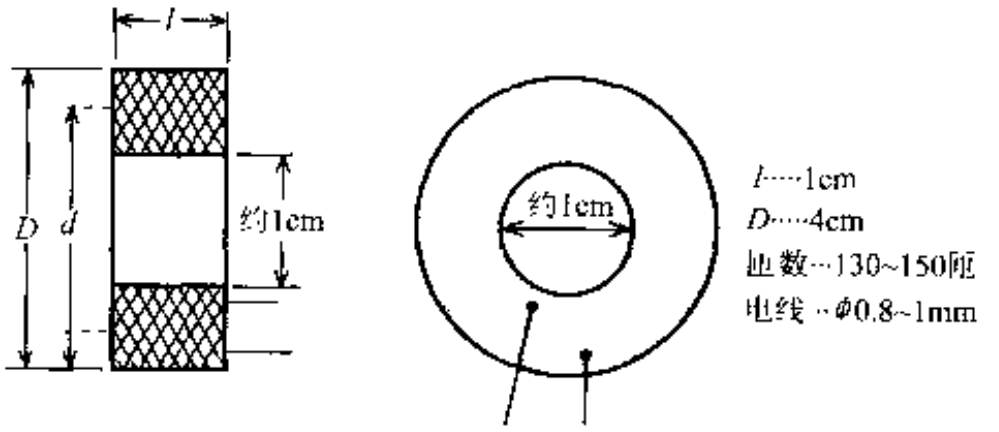


图 5　空心线圈

线圈常数大体能够用下式计算：

$$L=\frac{0.00987\times d^2\times n^2}{l}\times K(\mu H)$$

- l……cm
- d……cm
- k……由形状决定的常数（由 $\frac{d}{l}$ 决定）大体是 0.5
- n……匝数

K 是由形状决定的常数，对于图 5 所示形状，大体是 0.5 左右。虽然在图 5 中 D 是 4cm，在计算公式中取绕线的平均值时将 d 设定为 3.5cm 左右。用匝数为 130 匝计算，则

$$L=\frac{0.00987\times 3.5^2\times 130^2\times 0.5}{l(\mathrm{cm})}\approx 1\ 022(\mu H)\approx 1.02(mH)\approx 1$$

(mH)

用各种各样的匝数制作 L_1 时，就尺寸来说，直径 d 大，厚度 l 小的时候 mH 数变大。直径和匝数以平方有效，请下些工夫，制作各种常数的线圈。

如果能得到铁氧体磁芯，也请使用一下试试看。

试运转

(1) 最初在无负载的情况下进行实验。

接通电源，用万用表确定输出电压。如果改变 VR_1 则电压在 3～6V 左右变化就为正常。

(2) 接上负载试试看。

将输出电压预先设在 5V。如果连接的负载是 5Ω(10～20W 的电阻)则电流为 1A，连接负载若是 2.5Ω 则电流为 2A。

用万用表一边测量电压，一边连接、断开 5Ω 电阻，然后再连接、断开 2.5Ω 电阻试试看。确认 5V 电压的变动程度。

当万用表的指示看不出变化就属正常。

(3) 用同步示波器确认输出电压的纹波是什么程度。如果在 10mV 左右属正常。

(4) 观察振荡频率和脉冲宽度的控制情况。用同步示波器观看扼流线圈 L_1 的两端就能知道。改变负载试试看，大约是 20kHz 左右。

(5) 温度实验

将负载设定在 1A 或者 2A，进行长时间运转。看看在什么地方，发生了怎样程度的热，如果有不合适的地方，就要采取相应对策。

经上述过程就完成了试运转。以此为基础可以开始实用品的设计。

(6) 在实用品的设计中，最重要的是设计问题。不要说商品，就是自己使用的实用品也要求使用方便，最好用自己去购物时的心态来完成自己的设计。



6 4~13V/2A开关式稳压电源(使用SG3524)的制作方法

作为开关电源用的IC SG3524正在普及之中.各厂家也发售了可以替换的相应产品(例如TA76524P),都是容易得到的廉价IC.使用这种IC制作电源。

电路图及其要点

原理上说,与前面使用 μA723 的方式几乎相同.在使用 SG3524 的情况下,振荡频率被 C_3 和 r_4 固定为定值(参见图 1)。

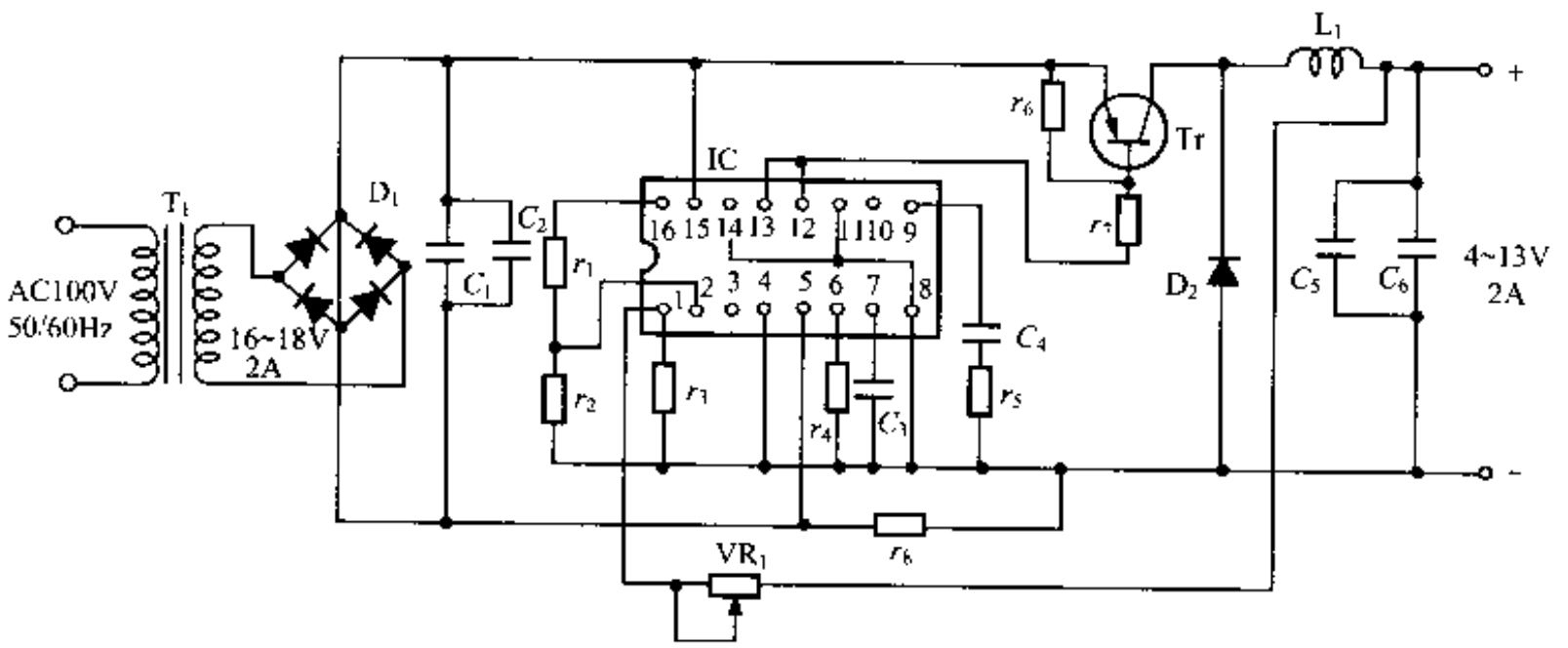


图 1　开关式稳压电源的电路图

虽然输出电压的变化由 VR_1 10kΩ 完成,但是,如果变更 r_1(1~5kΩ 之间)时可变范围将发生变化。根据你的实验目的决定可变范围。在该例中可变范围是 4~13V。r_8 是电流限制电阻,将 r_8 设定为 0.15Ω 时,电流被限制在 1A。改变 r_8 的电阻值,被限制电流值将发生变化。也可根据实验目的决定。C_1,r_3 是防止振荡用的。

IC 的管脚 3 和 10 被闲置，在电流关闭电路中，没有使用它。L_1 虽然可以像前面的例子那样用空心线圈制成，这里，如图 2 所示，使用在零部件商店出售的线路滤波器用的环状铁氧体磁芯制作。

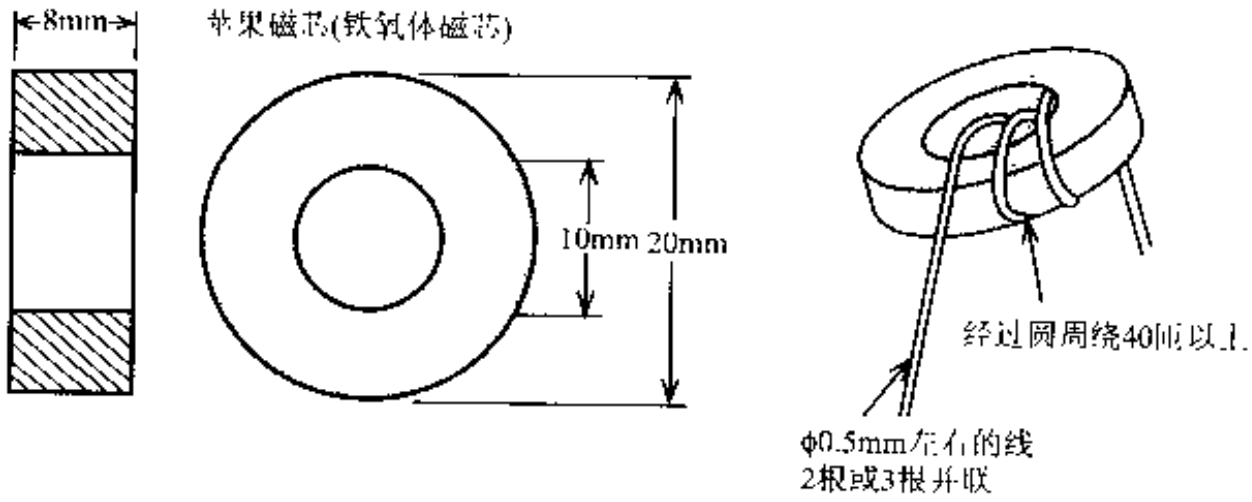


图 2　L_1 的制作方法

部　件	
IC	SG3524(相当产品也可以，TA76524 等)
Tr	2SB849 120V/7A，类似 H_{FE}80 的相应产品也可以
D_1	最好是硅整流器 2～3A 的全波整流桥
D_2	IS2757 等 1～2A 高速用硅整流器，相当产品也可以
r_1	1.2kΩ 1/4W
r_2	4.7 kΩ 1/4W
r_3	4.7 kΩ 1/4W
r_4	3 kΩ 1/4W (3～6kΩ 决定振荡频率)
	(约 3kΩ …35kHz，6kΩ …20kHz)
r_5	30kΩ 1/4W
r_6	500Ω 1/4W
r_7	500Ω 1/4W
C_1	1000μF/25V
C_2，C_3	0.1μF/50V
C_3	0.01μF/50V(决定振荡频率)
C_4	0.01μF/50V
C_5	470μF/16V
VR_1	10kΩ
T_1	AC100V/AC16～18V 2A 程度的适当的产品
L_1	600μH 程度的产品(参照正文)
r_8	0.1～0.15Ω(用电阻线或者镍铬合金线制作。能耐 2A 电流)

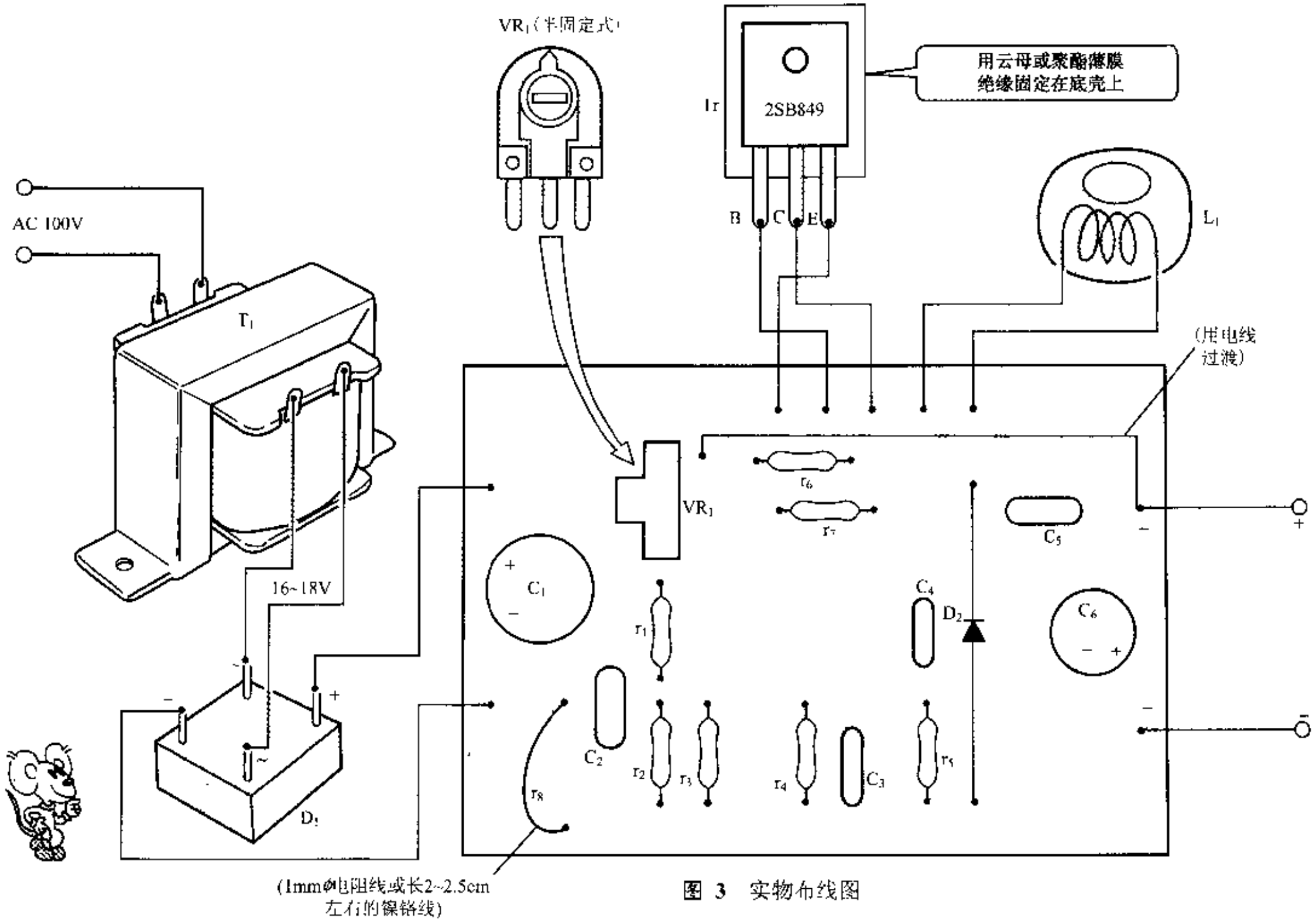

VR1（半固定式）
用云母或聚酯薄膜
绝缘固定在底壳上
Tr
2SB849
B C E
L1
AC 100V
T1
(用电线
过渡)
r6
r7
VR1
C5
+
C1
−
C4
D2
C6
r1
C2
r2
r3
r4
C3
r5
r8
16~18V
D1
(1mm的电阻线或长2~2.5cm
左右的镍铬线)

图 3　实物布线图

并不知道该图中的铁氧体磁芯的材质等，重要的是如果有适当的磁芯绕40～50 匝使用一下试试看就可以了。

在图 2 中，能耐 2A 的导线是用 0.5ϕ 的导线 3 根并列绕成的。由于用粗线难绕所以才用细线并列绕成。对于实装训练很有价值。

实物布线图

参见图 3。

印制电路板

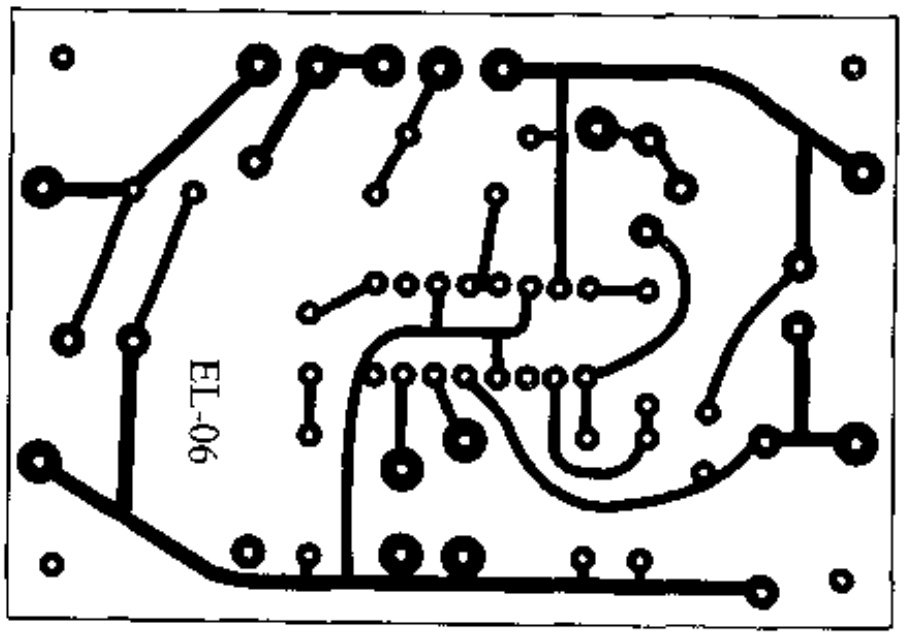


图 4　印制电路板图

试运转

试运转时需作如下调整：

(1) 变更频率试试看。在 1～10kΩ 的范围内变更 r_4。当然，C_3 也有影响，也可以改变一下 C_3 试试看。

(2) 变更 L_1 试试看。制作时更换各种各样值的 L_1 试试看很有价值。

(3) 决定电压的可变范围。变更 r_1 试试看。

(4) 研究限制电流的方法，调整 r_8。

在输出 5V 下，如果是 5Ω 的负载，有 1A 的电流流通。进而，再并联 5Ω 电阻，电流则成为 2A，看到这时的情况，就明白调整的方法了。

(5) 分析各部的温度，如果有不合适的地方立即采取对策。

(6) 分析一下输出侧的电压变动、纹波等。

最后，应研究作为实用装置的设计方法。



从电路图到制作印刷电路板图的技术十分重要

如果经过一定的训练确实能够成为印刷电路板腐蚀工作的高手，不久就能够制作印制板了，这时，重要的是要知道原来的图是什么样的？

如果图与目的电路不匹配，即使制作出再漂亮的印刷电路板，电路也不能正常的工作。当然，制作正确的印刷电路板图是在动手制作之前就存在的重要的课题。

在本书中，同时示出了电路图和印刷电路板图。可将它作为如何将电路图转变为印刷电路板图的一个样本仔细看看。

最初，先从模仿这些方法开始，拓展自己的能力，然后，再作为自己独有的技术能力不断发展下去。

7 5V/5A开关电源的制作方法

[规格]

输入　AC100V　50Hz/60Hz(AC100V直接整流方式)

输出　DC5V/5A　但是,输出电压2~12V可变

输出电流5A,如果考虑到晶体管、整流器,有可能达到20A程度

开关电源及其电路

众所周知,现在在市场上正由一些专门的厂家大量出售将AC100V直接整流的开关电源,这种电源正在广泛普及中。

在这里,我们不是要和这些优秀的已经完成的商品争胜负,而是从了解这些优秀的商品是经过怎样的辛苦才制作成功的思想出发,研究制作类似的东西。

但是,即使现在,因想做一个实验而去看专门厂家的商品,并要以其作为参考时,首先也会陷入寻找部件的困境。

○ 高频变压器　○ 高压晶体管　○ 扼流线圈

○ 平滑滤波用大容量电容器　○ 高速整流器

等类似的产品,如果你中意就可以买到,但是,是否真的适合你用却没有保证。

其次,是不了解电路方式。假如,你认真地分析了专门厂家的商品,即使你了解了电路的连接也不一定能制作合适的部件,结果仍然是难于处理。你必须考虑到专门厂家的产品关系企业的生命,其中必定隐藏着许多技术秘密,用简单的实验工作能力即使想与之对抗,也是实力悬殊不成对手的,这一点是必须首先觉悟到。

虽说因为害怕还没有动手,但是,仍想制作一个试试看,那就用图1所示电路。

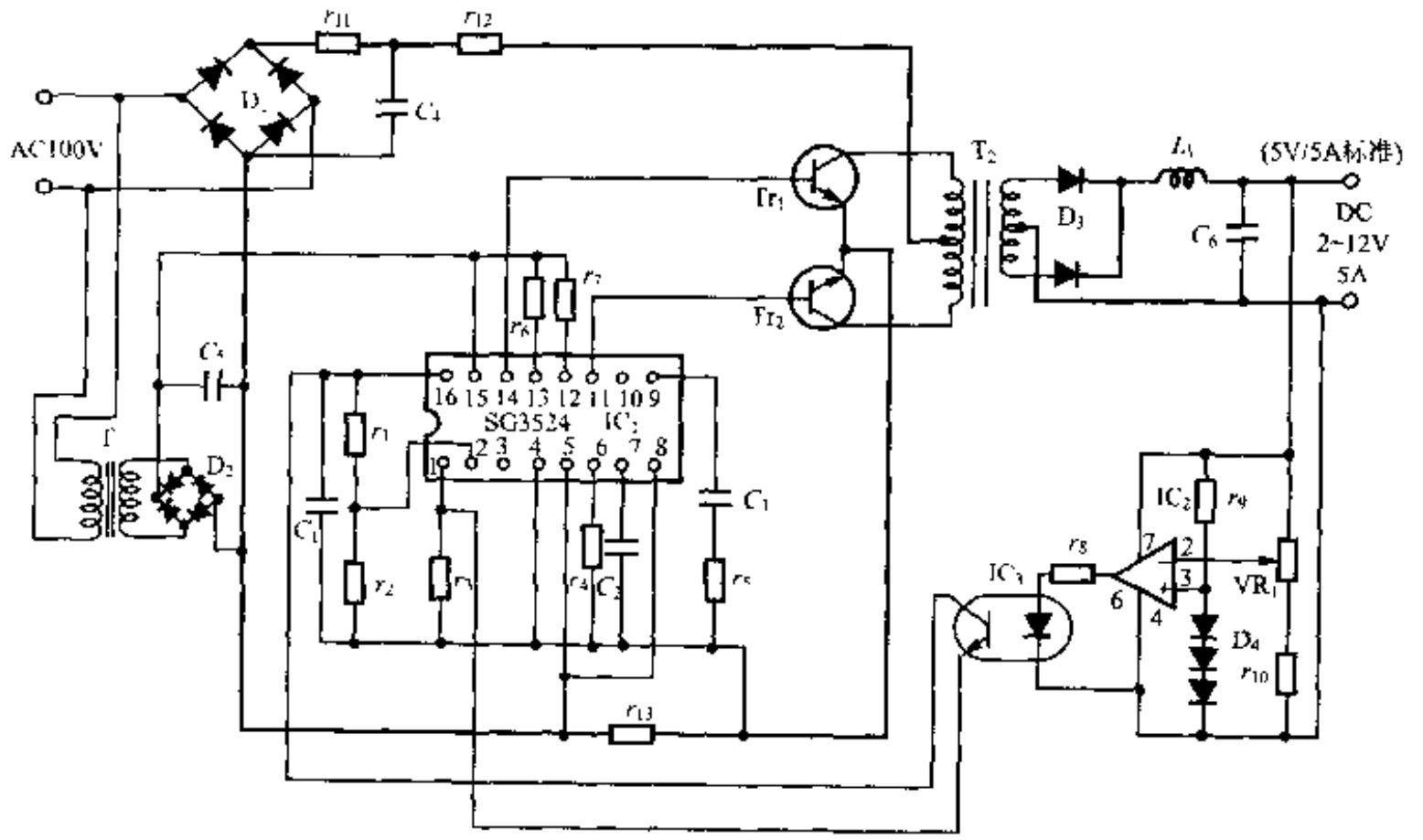


图 1　开关电源的电路图

电路方式的要点

该电路方式是使用通用的开关电源用 IC SG3524 的基本电路方式，是厂家的资料、专业书籍中介绍的方式。

将 AC100V 直接整流，整流后用高压晶体管进行开关，在高频变压器中，与 AC100V 绝缘地从次级一侧取出它的输出，用高速二极管整流取出它的直流输出，为了控制它为恒定电压，需要绝缘地向开关电路传送控制信号，为此采用的是使用光电耦合器制作控制环路的方法。

原理上说，由于使用了具有优秀性能的专用 IC，即使不了解 IC 的内部结构，按该电路图组装，大体上也能够开始实验。

电路的要点

图 2 是参考厂家的资料绘制的 SG3524 内部结构的要点，在其周围组装外部电路。

(1) SG3524 的电源低于 40V，可施加 20～30V 左右的电压。

为了制作该 20V 的电压，虽然可用电阻和稳压二极管(定电压二极管) 从

部 件

IC_1	SG3524 或者相当产品(例如:TA76524P 等)
IC_2	运算放大器 IC,在低电压下工作的 IC(例如:TA75254(东芝))
IC_3	光电耦合,尽量使用组装了达林顿晶体管的产品,在该例子中使用的是通用品 TPL521(东芝)
D_1	AC100V 整流用,600V/1A 程度的硅整流器 4 个,在通用品中类似的产品无论哪种都可以
D_2	AC20V/0.1A 整流用,可以是通用品
D_3	高速用 5A/100V(例如:5BL2C41(东芝),S5KC2D(新电元))等由各厂家出品的各种相应产品。如果是相应产品哪一种都可以。如果能够得到 10A,20A 的产品更好
D_4	通用的硅二极管,通用品,哪一种都可以,4 个串联
Tr_1、Tr_2	高耐压功率晶体管(例如:2SC2553 500V/5A),如果是类似品、相当产品那一种都可以
r_1、r_2、r_3	4.7kΩ 1/4W
r_4	3.3kΩ 1/4W,决定频率用电阻
r_5	22kΩ 1/4W
r_6、r_7、r_8	680Ω 1/4W
r_9	10kΩ 1/4W
r_{10}	1.2kΩ 1/4W
r_{11}、r_{12}	约 5Ω 10W,也可以用电阻线卷绕制作
r_{13}	约 0.1Ω 耐 1A 电流,用电阻线制作就可以
C_1	0.1μF/50V
C_2	0.01μF/50V,决定振荡频率用电容器
C_3	0.01μF/50V
C_4	220μF/160V
C_5	100μF/50V
C_6	2200～3300μF/16V
T_1	小型变压器 100V/20V 0.1A 也可以是类似品,次级是 18～22V 程度
T_2	参照正文,在这里使用稍大一些的 E150、H_{5A}、E140 也可以
L_1	100μH 程度,参照正文
VR_1	10kΩ 印刷电路板安装用

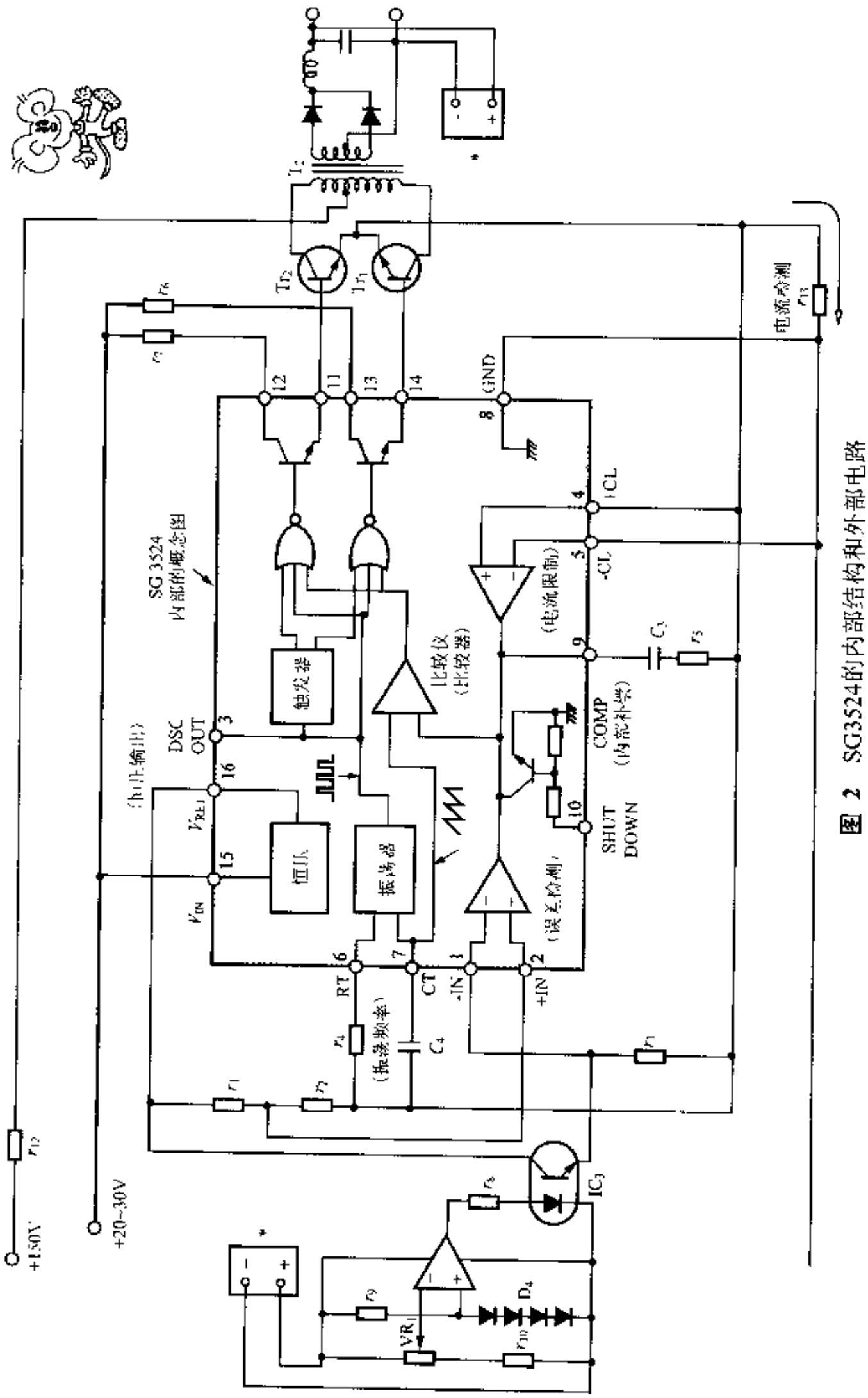


图 2　SG3524的内部结构和外部电路

150V(整流 AC100V 的基本电压)开始制作,但由于电阻发热量大,这里决定使用小型变压器。该 20～30V 的电压没有必要设定为恒定电压。

(2) 在 IC 的 16 管脚,在 V_{REF} 上输出约 5V 的恒定电压。将其作为基准电压。

(3) 将电阻和电容器安装在管脚 6、7 上决定频率。

用同步示波器观察管脚 7 的波形时,可看到锯齿波形。由此就知道了频率,大体是 20～30kHz 左右。

(4) 管脚 1 是反馈输入,在这里施加输出电压制作控制环路,由于主电源是将 AC100V 直接整流得到的,为了绝缘使用了光电耦合器。将施加在管脚 1 上的电压和管脚 2 上的恒定电压的 1/2(约 2.5V)进行比较。

当管脚 1 的电压比管脚 2 的电压小时,脉冲宽度变大,输出电压上升。反之,当管脚 1 的电压比管脚 2 的电压大时,脉冲宽度变小,输出电压降低。

(5) 管脚 5、4 是限制电流用的,检测出在图中 $r_{13}\approx0.1\Omega$ 电阻上发生的电压,目的是降低脉冲宽度。

(6) 虽然由图可明白管脚 9 上的电阻和电容器的连接位置,但因它是作为防止异常振荡用的,所以还不知道合适的值。预先设定大体为 0.01μF 和 22kΩ。

(7) D_4 是 4 个二极管串联而成,用 4 个的目的是为制作 2V 的恒定电压。在硅二极管上流过电流时,就发生与电流无关的 0.5V 的电压,所以才使用它。

(8) IC 的管脚 10 和 3 没有使用,闲置着。

高频变压器 T_2 的制作方法

在开关电源中最困难的部件是高频变压器。

关于高频变压器的铁氧体磁芯的材质,最近介绍使用 H_{7C1},PQ 磁芯的例子很多。作为用于开关电源而制作的高频变压器特性确实优秀,但是,也有不能立刻得到的情况,如果能得到的话即可用它,当不能得到时,应该使用容易得到的材料自己动手制作试试看。这里,使用过去一直使用的 H_{5A} 材料进行制作试试看。

这里虽然使用了 E150,但从容量看 E140 就已足够。决定采取具有充足卷线空间的大的磁芯。如图 3 所示,使用 E150,H_{5A} 进行设计试试看。

首先,制作坚固的绕线架。虽然有专用的绕线架在出售,但是材质太弱,为了卷粗的线,还是自己制作坚固的绕线架为好。

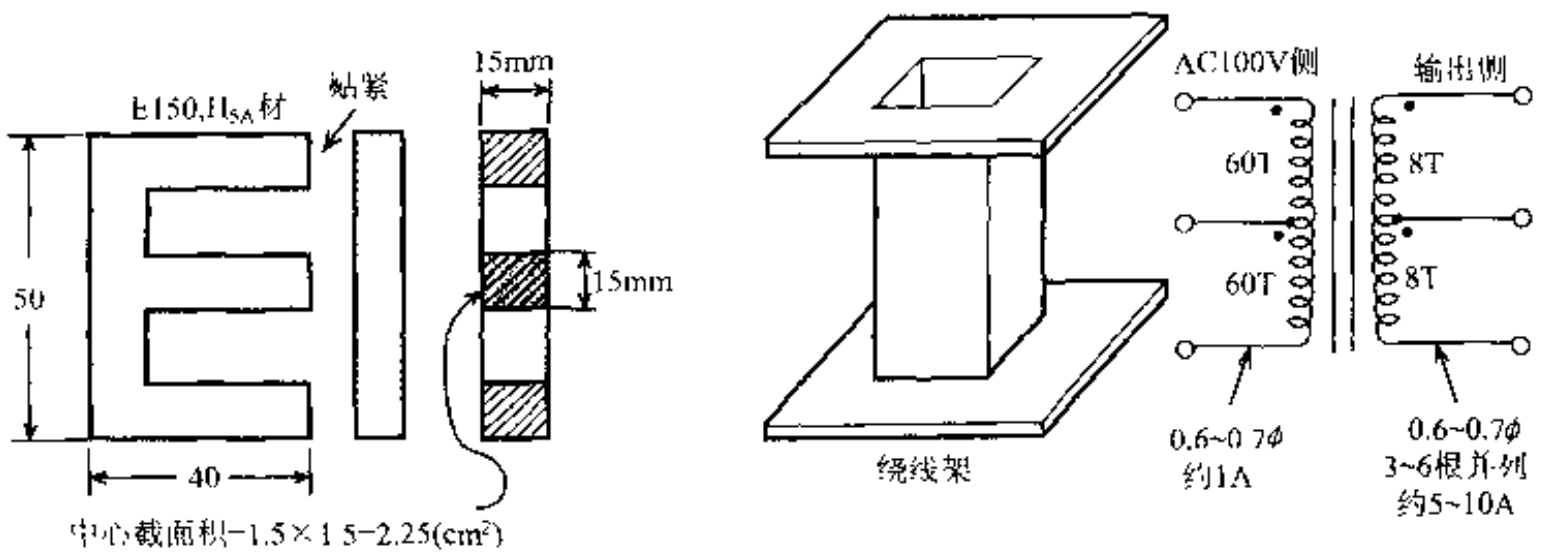


图 3　高频变压器

• 初级线圈匝数的计算

$N=\dfrac{V\times 10^8}{4fBA}$其中，$V$ 为初级电压，设为 150V；f 设为 20kHz；B 为磁束密度，H_{5A}材料设为 0.15T（1500s）（H_{5A} 材料是 TDK 的商品名），类似品也可以（0.15T 是不饱和范围的值）A 为磁芯中心的截面积，2.25cm²。

$$\text{初级线圈匝数}=\frac{150\times 10^8}{4\times 20\times 10^3\times 1500\times 2.25}=55.55\approx 60(\text{匝})$$

• 次级线圈匝数的计算

在次级，以大体取出 12V 为立足点来考虑次级的整流器、扼流线圈的降压，计算时是按 15V 计算的。进而，由于有 2 个 5Ω 的串联电阻，再加上晶体管上的降压，初级的实际电压宜按 120V 左右进行计算。

$$\text{次级线圈匝数}=60\times\frac{15}{120}\approx 7.5\approx 8(\text{匝})$$

这样的匝数是一个大体的标准，不是最佳值。可能还有些因素没有考虑到，采用逐步逼近法，用各种各样的匝数进行实验为好。

• 绕线的粗细

在初级，只要是能够耐 1A 的电线就好，虽然在次级可以用 5A 或者因某种目的需要 10A 的电线卷绕，但是，与其用粗的线卷绕不如用 φ0.5～0.6 的电线几根（3～6 根）捆起来并列卷绕工作更容易。而且，由于是高频，存在趋肤效应，与 1 根的单线相比将细的线捆起来更有利。如果是 E150 可以用手很简单地卷绕，如果是 E140 一旦不能很好地卷绕时，就不能容纳下这么多的电线，这要看试制者的能力了。其结果是，为了使用小的磁芯，卷线匝数必须少，如计算式中所说明的频率高和磁束密度大这两点由磁芯的材质决定。

扼流线圈的制作方法

如图 4 所示，在环状的铁氧体磁芯上沿圆周方向并列卷绕能耐输出电流的 ϕ0.5～0.6 的电线 3～6 根。虽然这里卷绕了 18 匝，但是最好是能绕多少匝就继续绕下去。虽然不明白到底能达到多少亨[利]了，关键是有了适当的线圈就好。

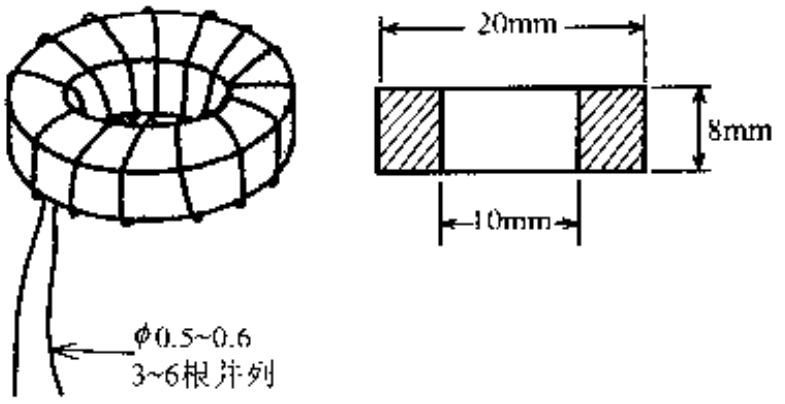


图 4　扼流线圈的制作方法

制作方法

图 5 是印制电路板图，图 6 是印制电路板的配置图和外部部件的连接图。在图 6 中，虽然功率晶体管 Tr_1，Tr_2 和 D_3，L_1 安装在印制电路板的外部，但是，使用稍大一些的印制电路板将这些安装在电路板上也可以，制作者可自行决定。

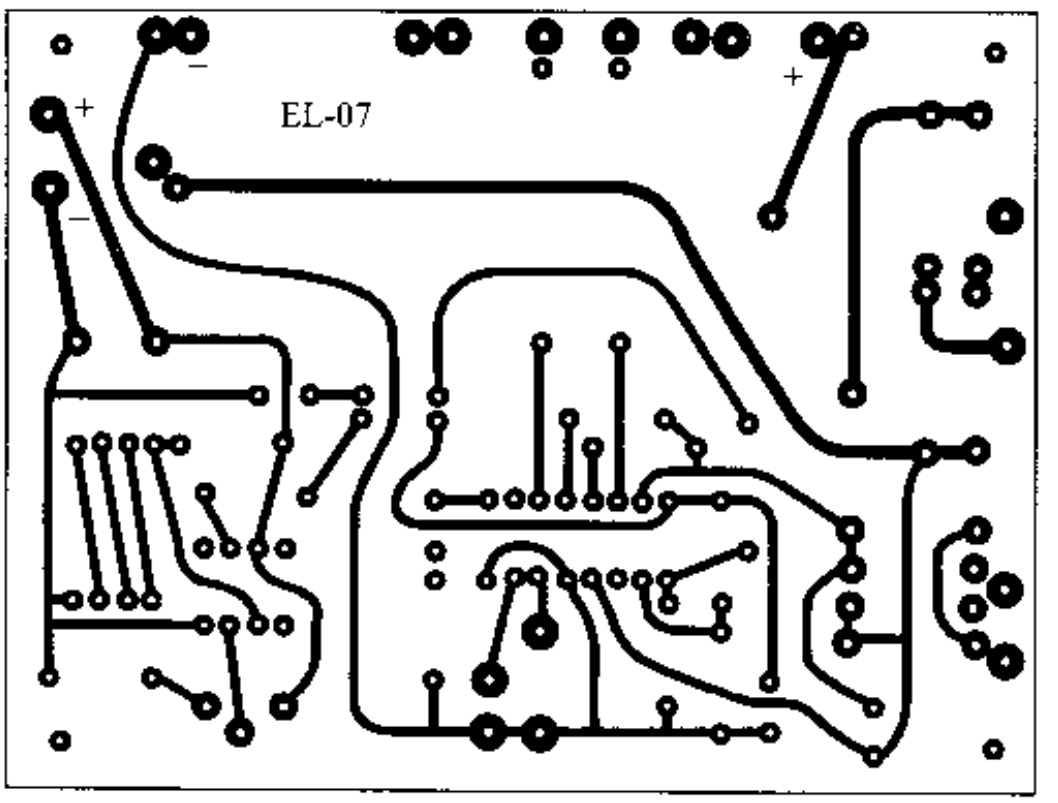


图 5　印制电路板图(原尺寸大小)

Tr_1、Tr_2 及 D_3 安装在散热用的铝板上，原则上讲以不产生大的发热为原则，没有必要用大的散热板，也可以最初使用稍大的散热板，而后进行改进。

运转、调整

(1) IC、整流器、晶体管类如果不准备数倍的个数，仅备一个是不能完成

的。常发生数个晶体管、IC 报废的情况。还有，当不小心将电源接通时，也会发生在印制电路板上起火的情况。

(2) 在将 AC100V 整流对 200μF 的电容器充电的情况下，有必要认识它的能量大小。当反馈环路不正常的情况下，由于在 r_3 上没有施加反馈电压，IC 看作输出为零，输出最大输出脉冲宽度的信号，因 T_2 的制作方法或错误会形成短路状态。

(3) 作为准备，将 r_{11}，r_{12} 换成 10～50Ω 的电阻，或者预先追加别的电阻，进而，预先将电流表加入到图中的位置。

(4) r_{11} 的目的是防止在整流 AV100V、充电 C_4 时的过冲电流。r_{12} 的目的是防止 Tr_1，Tr_2 短路。

(5) 如果有滑线电阻调压器的情况会好些。开始时先以 60～70V 左右的电压接通电源试试看也是一种方法。如果将保护电阻加大，即使意外的直接接通 AC100V，理应没有什么问题，虽然担心也没有办法，还是下定决心接通 AC100V 吧。

观察电流表，如果有大电流(1A 附近)流过，从 T_2 发出振动音，首先必须观察控制环路是否处于正常工作状态。看在输出侧是否输出数伏[特]的电压。

(6) 如果输出在 10V 左右，旋转 VR_1 也没有产生任何响应，就是 IC_2 的运算放大器 IC_3 的光电耦合器电路不正常。

注意：不要使电流太长时间地在 1A 附近流通。

(7) 在断开电源检查印刷电路板的时候，在 C_4 上有可能还残存着充电，首先，必须通过 50～100Ω 程度的电阻使 C_4 的＋、－端短路放电，在用万用表确认没有电压残存之后再进行。

(8) 费尽周折，总算使控制环路工作了，由于没有负载，电流表的指示仅有微小的振动，应该几乎是近于零。

在无负载情况下，控制环路一旦正常工作，有时从 T_2 发出噪声振动。理应以控制环路的时间常数振动，为了想停止该振动音，会习惯性地在 IC_1 的外围加上大电容器，认为也许这样会变好，但是一旦断开后再接通电源时，控制环路的延迟有时会变成短路，对此，必须注意。

(9) 接通电源，使电流流通，电流表在零附近，首先如果成为稳定状态，旋转 VR_1 使电压变化。最初最好使输出电压呈 5V。若预先使输出在 5V，加上负载试试看。其结果是：

① 如果加上 5Ω 的电阻负载电流是 1A，

② 如果是 1Ω 负载电流是 5A。

逐渐增大电流试试看。如果电流表的指示相应振动就是成功了。

实物布线图

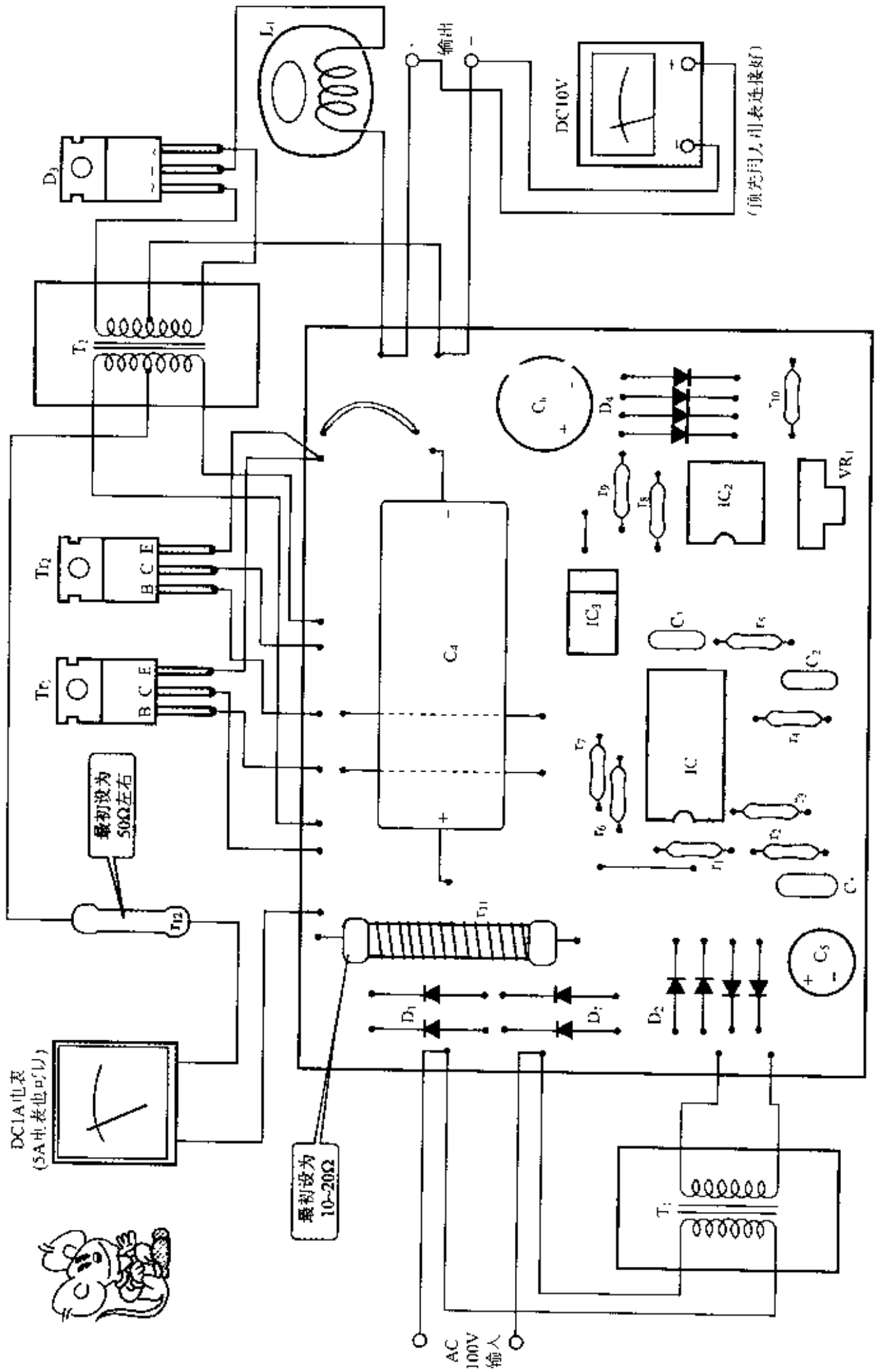


图 6　实物布线图

（10）去掉加在外部的保护电阻，将 r_{11}，r_{12} 设在 5Ω 程度。电流表还是预先连接着为好。使负载电流在 1～5A 间产生各种变化。观察输出电压的稳定性，应该满足要求。

（11）再并联另一个 D_4，或者更换别的 10A 级的整流器，能够流通更大的电流。

（12）在数安[培]的负载下，长时间的运转试试看，检查各部位的发热情况，找出对策。

（13）其次，变更 T_2 的匝数试试看。变更 r_4 从而变更频率试试看。

调整 r_{13}，找出限制电流的方法。调整 VR_1 的可变范围等，还必须进行的研究问题尚有很多，如果有目的地追求更高层次的价值，今后就依靠各位自己的判断了。

8 电源转换器DC12V→AC100V 50Hz/60Hz正弦波输出40W转换器的制作方法

制作小型电源转换器试试看，大体目标定在40W程度，如果理解了这种电路的制作方法，大型的电源转换器，例如100W或者200W都是该电路技术的外延，理应能够自行设计。

[规格]

① 输入：DC12V　50~120A·h的汽车用DC12V蓄电池。

② 输出：AC100V　50~60Hz（约30~200Hz间可变），单相40W以下。

③ 输出波形：几乎是正弦波，在输出端调整．用抽头变更输出电压。

④ 效率：因调整方法不同而相差很大，虽然由后面的测量来定，但大体上能决定以下条件。无负载时的DC12V输入电流在1A以下，如有可能希望低于0.5A。

⑤ 能够长时间的连续运转。

电源转换器的条件

① 效率高。由于是以电池为电源，要尽力减小无效的电力消耗，即，高效率是第一条件。

② 输出波形是正弦波。虽然实际上不能成为完全的正弦波，但要极力接近正弦波。当用同步示波器（阴极射线管示波器）观察波形时，希望能达到感觉几乎是正弦波的程度。

③ 与电源接通同时启动，频率稳定。

④ 小型而且发热量少（影响效率）。

⑤ 制作价格便宜。

等，要考虑各种各样的条件。因此，决定制作能够符合上述条件的图 1 所示的转换器试试看。输入使用 12V 的汽车用蓄电池。

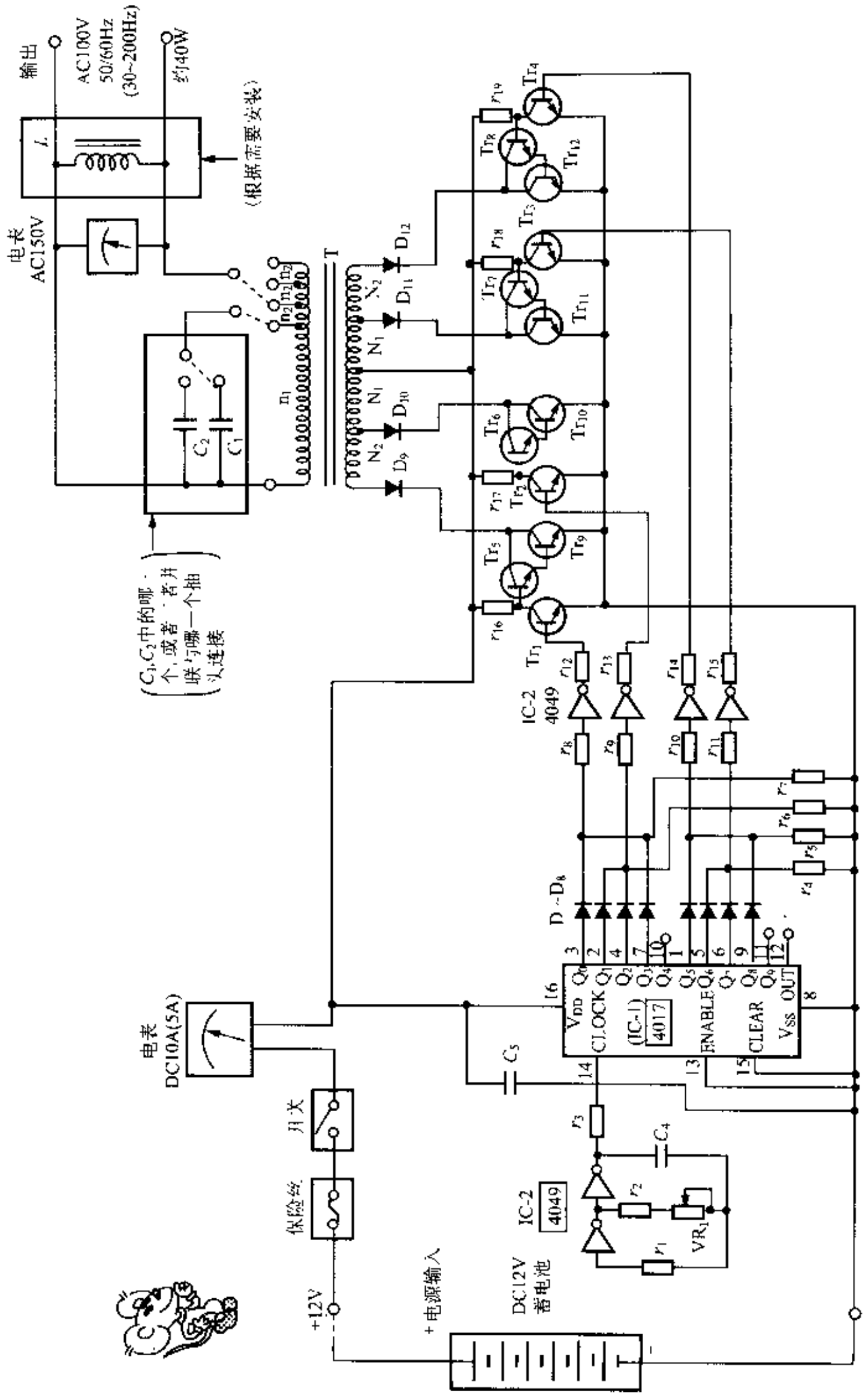

输出
AC100V
50/60Hz
(30~200Hz)
约40W
(根据需要安装)
电表
AC150V
T
C_1,C_2中的哪一个,或者一者并联与哪一个抽头连接
C_2
C_1
n_1
n_2
n_3
n_4
T
N_2
N_1
N_1
N_2
D_{12}
D_{11}
D_{10}
D_9
Tr_4
Tr_8
Tr_{12}
Tr_5
Tr_7
Tr_{11}
Tr_6
Tr_{10}
Tr_2
Tr_9
Tr_3
Tr_1
r_{19}
r_{18}
r_{17}
r_{16}
IC-2
4049
r_8
r_9
r_{10}
r_{11}
r_{12}
r_{13}
r_{14}
r_{15}
r_7
r_6
r_5
r_4
D_1~D_8
电表
DC10A(5A)
C_5
(IC-1)
4017
V_{DD}
CLOCK
ENABLE
CLEAR
V_{SS}
OUT
Q_0
Q_1
Q_2
Q_3
Q_4
Q_5
Q_6
Q_7
Q_8
Q_9
r_3
C_4
IC-2
4049
r_2
VR_1
r_1
月关
保险丝
+12V
-
+电源输入
DC12V
蓄电池
T

图 1　转换器的电路图

使用目的

实际上，以 DC 12V 制作供给 AC100V 10W 电源的目的并不明确。例如，计算机系统中用 AC 100V 旋转的冷却风扇，在停电时用 DC 24V 的蓄电池电源制作 AC 100V 使风扇旋转这样初步的使用方法，多数已经在实用中，此外，在 AC 100V 电源下工作的测量仪、记录仪等，当需要在得不到 AC 100V 电源的野外使用这些仪器时，用 DC 12V 汽车用蓄电池的电源转换器就成为绝对需要的装置。

部　件

IC 1	4017　C MOS　10 进制记数用 IC
IC 2	4049　CMOS　缓冲用 IC　以上都是最一般的廉价的 IC
$Tr_1 \sim Tr_4$	2SC1815　小信号电压放大　60V　150mA
$Tr_5 \sim Tr_8$	2SC3421　中功率放大　120V　1A
$Tr_9 \sim Tr_{12}$	2SD717　大功率开关用 70V　10A　以上都是廉价的通用品
$D_1 \sim D_8$	1S1588　硅二极管。通用品，相当产品也可以
$D_9 \sim D_{12}$	3BZ61　100V 3A 硅整流元件。通用品，相当产品也可以
C_1、C_2	1μF、12μF AC250V　MP 电容器，参照正文
r_1	1MΩ
r_2	调整，大体 50kΩ
r_3	10kΩ
$r_4 \sim r_7$	50kΩ
$r_8 \sim r_{11}$	100kΩ
$r_{12} \sim r_{15}$	50 kΩ
$r_{16} \sim r_{19}$	3kΩ
C_1	调整。大体 0.01μF 聚酯薄膜，VR_1…500 kΩ B 型，半固定也可以
C_2	100～200μF/16V
T	参照正文
L	参照正文
其他	小部件、电表、底壳、盒子等根据制作者的爱好决定



当对个人用计算机这样停电时绝对难以使用的仪器提出使用电源转换器的要求时，如果是 40W，是不能供给显示器(CRT)的，只能使个人计算机不停机，这种情况下，由于来不及检测出停电再进行更换，经常是采用通过该转换器向个人用计算机供电，而蓄电池处于长时间充电状态的方法。

虽然有时也用该转换器旋转小型感应电动机，改变频率改变旋转数的使用要求，但是，在单相感应电动机中实用性还不明确。

实验性的旋转 AC 100V 的电风扇，就能立刻明白它的状况。

电路原理

使用 CMOS 4017 的 10 级(10 段)10 进制计数器，将矩形波 2 级重叠使之接近正弦波。波形如图 2(b)所示。图中，在 Q_0 时，输出 60%的输出电压，Q_1，Q_2 时 100%的输出电压，其次，在 Q_3 时，再次下降到 60%，Q_4 时为 0%，从 Q_5

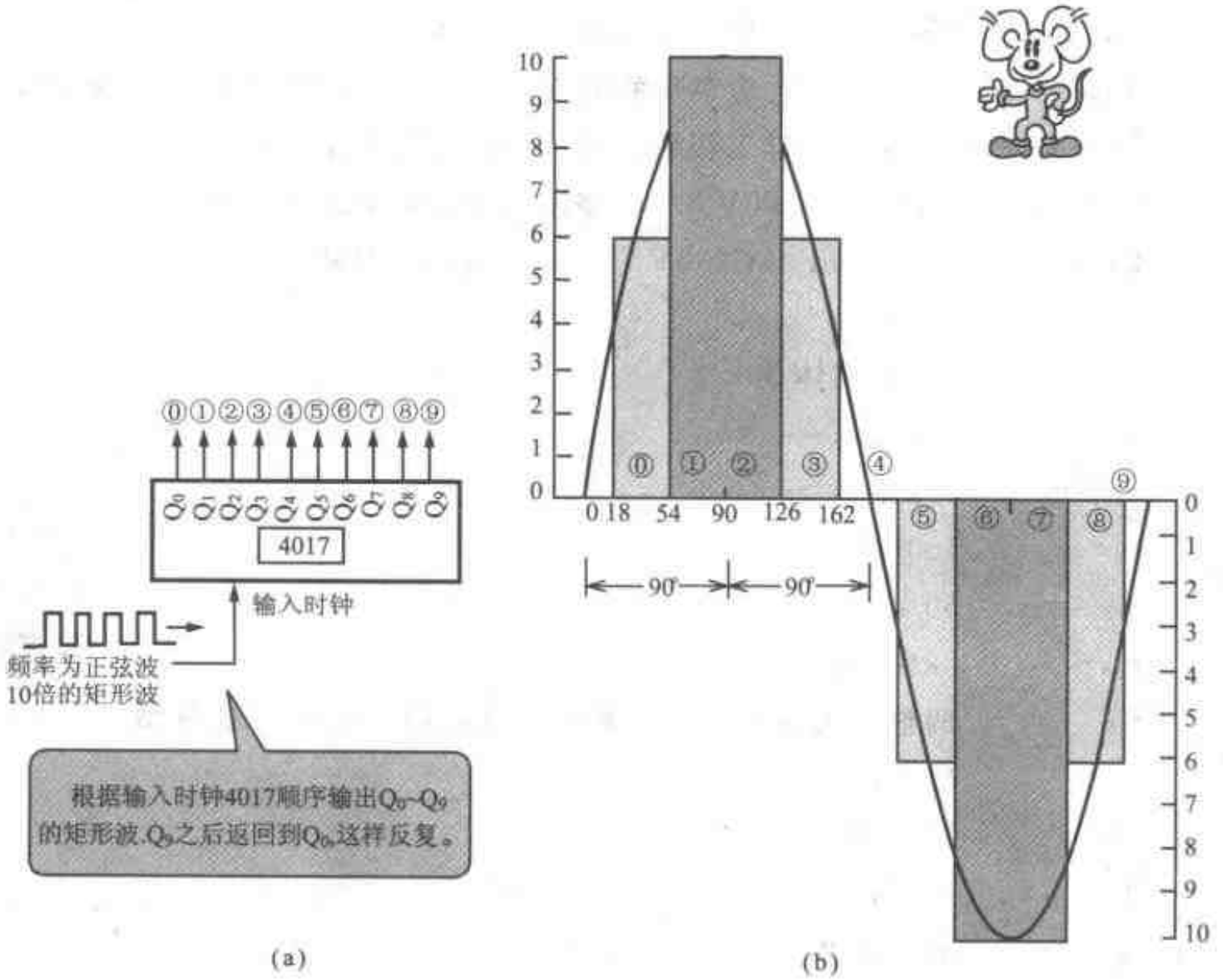
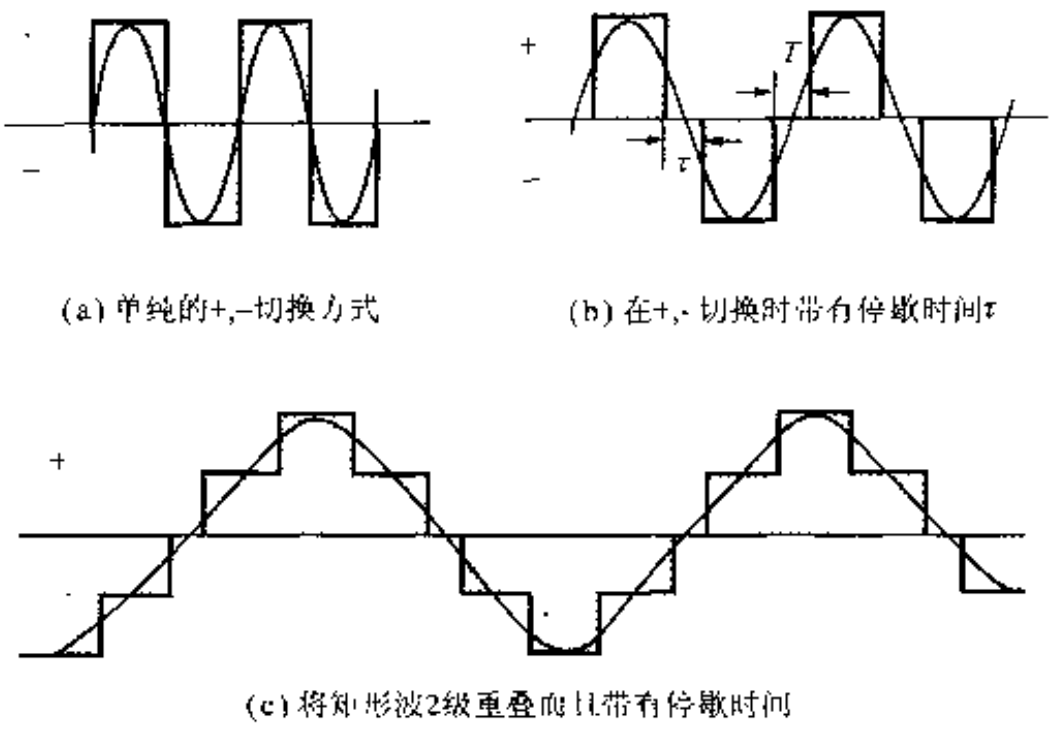


图 2　频率为正弦波 10 倍的矩形波



(a) 单纯的+,-切换方式　　(b) 在+,-切换时带有停歇时间τ

(c) 将矩形波2级重叠而且带有停歇时间

图 3

开始虽然是相同的形状，但向反方向输出。因此，在实际的电路中，Q_1 和 Q_9 是空置的。在矩形波的开关(ON、OFF的反复)波形中，考虑图 3(a)、(b)、(c)所示的方法。图(a)是最难接近正弦波的波形。图(b)是在+、-切换时，附加空置时间的方法，与图 3(a)相比，是相当接近正弦波的形状。进而，图 3(c)的形状比图 3(b)更接近正弦波的形状。

为对图 3(b)的形状进行分析，图 4 发表在专业书中，我们以此为基础进一步考虑一下。由图 4 可见，例如，将 180°的脉冲宽度设定为 120°的宽度时，输出中的第 3 谐波消失，第 5 和第 7 谐波仅包含 15%～20%左右。当考虑 60Hz 或者 50Hz 的正弦波的时候，第 3 谐波是 180Hz 或者 150Hz，而第 5 谐波是 300Hz 或者 250Hz，频率越高滤波器制作越容易，就是说，越容易除去。

图 3(c)的形状是将 2 个脉冲宽度

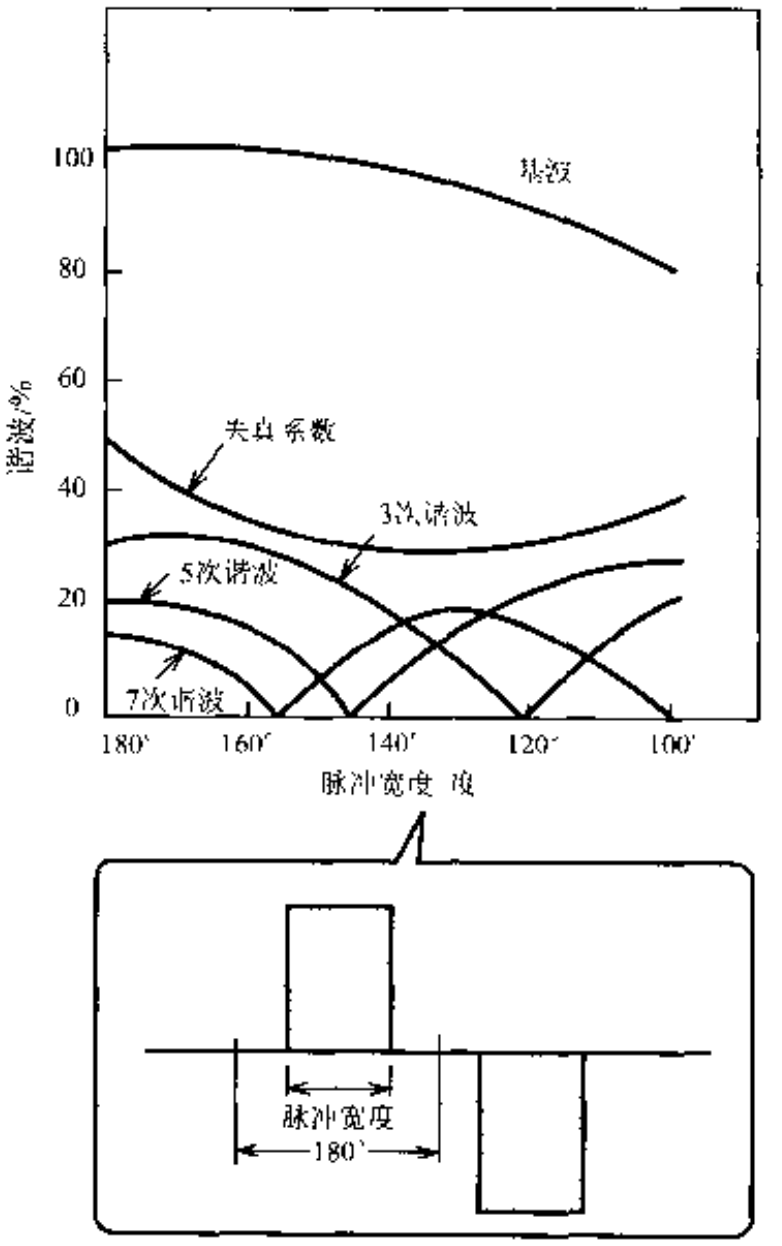


图 4　矩形波的脉冲宽度和高次谐波含有量

重叠考虑的情况，虽然不能从该图做简单的判断，但能够大体推定脉冲宽度在120°～140°左右适当。

回到原点，一旦 4017 的 10 进制计数器施加脉冲，就从 Q_0 到 Q_9 顺次出来脉冲。第 10 个脉冲再回到原点这样反复。将这样顺次出来的脉冲如图 2 所示的⓪,①,…,⑨那样抽中时，能够得到与图 3(c)的形状类似的形状。由于输入时钟是以 10 个脉冲旋转 1 回，输出正弦波的 1 循环，则施加时钟的频率是输出波形的 10 倍。如果输出波形是 60Hz，时钟就是 600Hz 的矩形波。

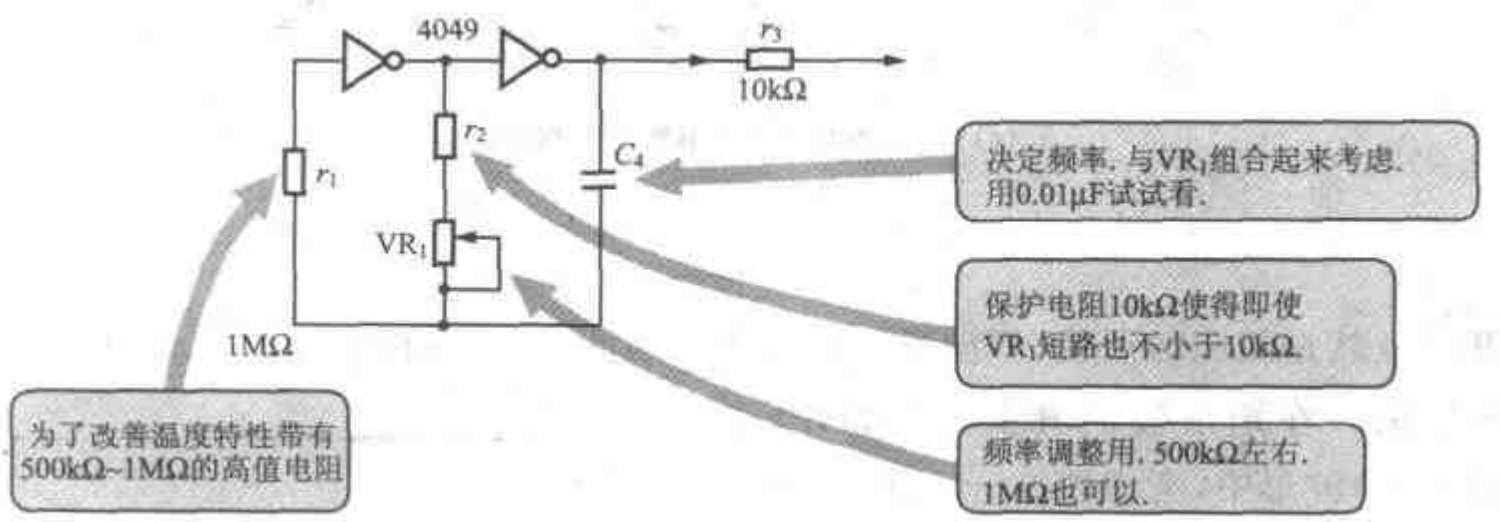


图 5　使用 4049 的多谐振荡器

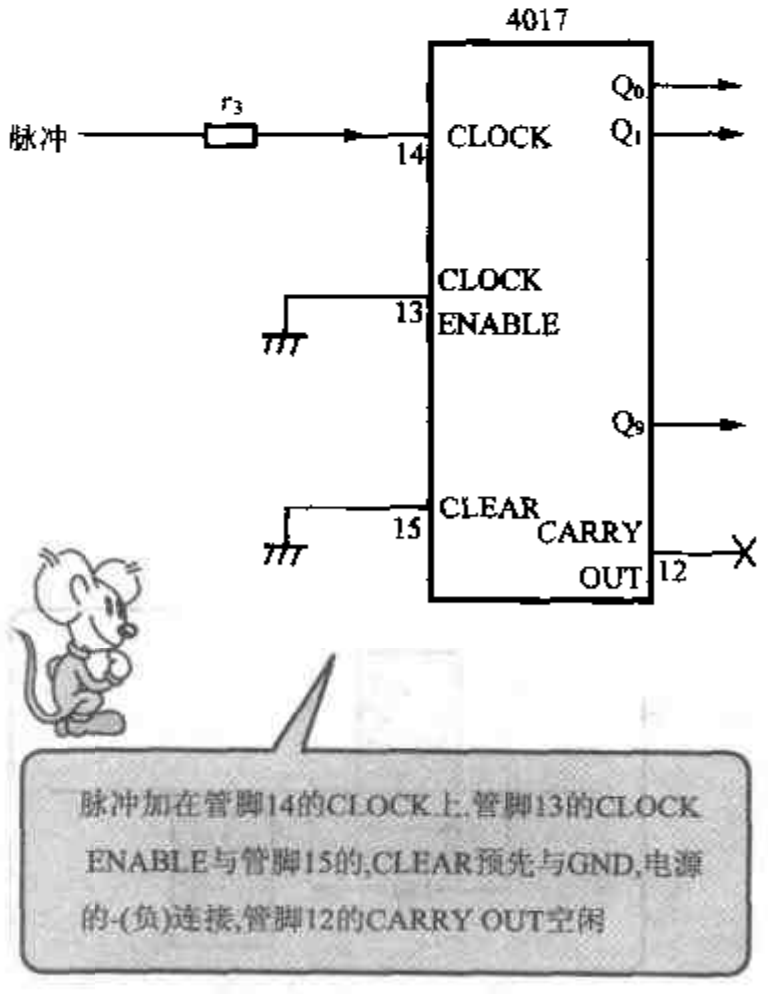


图 6

为产生时钟脉冲振荡，所用的是使用 4049 的多谐振荡器(参见图 5)。将它的输出施加在 4017 上。这时 r_3 为 10kΩ。虽然原理上说是不用，但是为了提高电路的稳定度还是要该电阻(参见图 6)。

虽然由图 2 就能够明白，由于波形中的⓪和③(即 Q_0 和 Q_3)，①和②(即 Q_1 和 Q_2)可以是相同波高值的脉冲，如图 1 的电路图所示，Q_0 和 Q_3，Q_1 和 Q_2 分别用二极管合成。脉冲应当从 Q_0 向 Q_9，按次序只能出来一个，当合成时，理应附加二极管使得不吸入反向电流。其次，由于附加了二极管，又附加了 r_1～r_7 的稳定电阻。一旦忘记附加稳定电阻，电路就不稳定。

虽然 r_8～r_{11}原理上是不用的，由于 IC 使用 12V 的电源，有时会产生称为自锁(latch up)的不稳定现象，作为保护对策预先附加了高电阻。

该输出在 4049 上放大后施加在晶体管上，开、关(开、闭)变压器的 12V 线圈(参见图 7)。

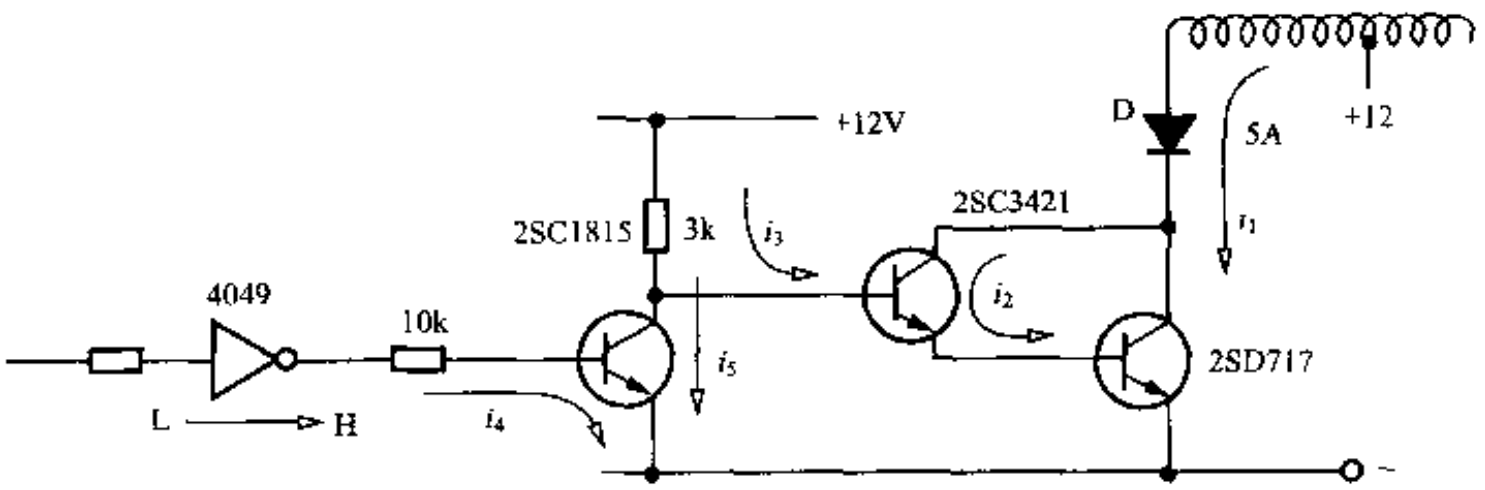


图 7　开关电路

① 设 i_1 流过 5A，2SD717 的 H_{FE}为 30，则 i_2 为：

$5(A)\div 30\approx 0.17(A)$

② 设 2SC3421 的 H_{FE}为 70，则 $i_3=0.17(A)\div 70\approx 2.4(mA)$

③ 当 2SC1815 OFF 时，i_3 从 +12V 通过 3kΩ 电阻供给，则

$$i_3=12(V)\div 3(k\Omega)\approx 4(mA)$$

约为 2.1mA 的 2 倍，能够供给基极足够的电流。

① i_4 是 4049 的输出，由于电源是 12V，输出 H(高电平)的时候能够输出约 11V 左右。则

$$11(V)\div 10(k\Omega)\approx 1.1(mA)$$

设 2SC1815 的 H_{FE}为 100，假设它无条件的流过 i_5，则 i_5 为 $1.1(mA)\times 100=110(mA)$，由于附有 3kΩ 电阻，$i_5$ 不能大于 4mA。如果 i_5 充分流通，i_3 就不能流。即 i_1 不流。2SD717 为 OFF 状态。

因此，如果 4049 的输入侧是 L(低电平)，输出侧就成为 H(高电平)，成为 OFF 状态。4049 的输入一旦成为高电平，与此相反，2SD717 即导通。

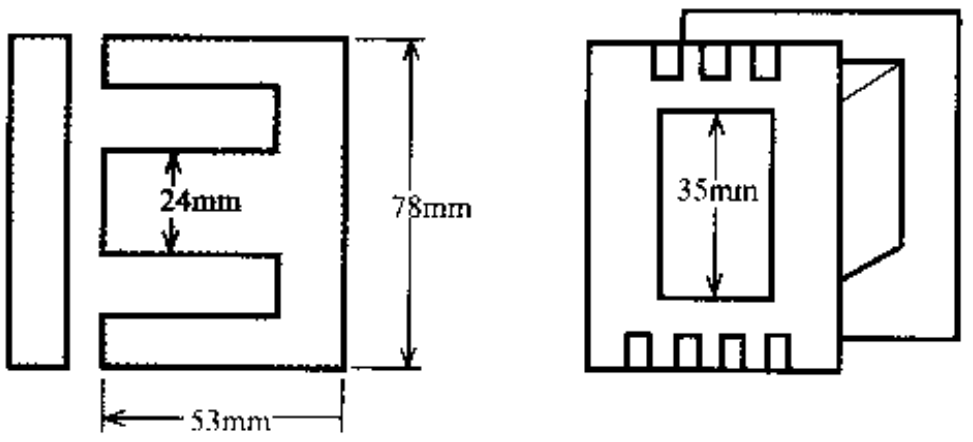
这样，当将晶体管作为开关使用时，所用的 H_{FE}的值是用厂家保证值的最小值来计算的，设计电路时一定要能够流过充足的基极电流，这是设计的窍门。

在变压器的线圈出来的地方装有二极管，这是由于当变压器的反对侧导通时产生相反的电压，加装二极管的目的就是为了使该反向电压不发生作用。

通过以上叙述，读者对电路的原理一定了解了。下面，进入变压器的设计。

变压器的设计和制作

如果以实验为目的，可以将旧的变压器拆开重新缠绕。图 8 是一个例子，是磁芯的选定的目标。



(a) 累积厚度35mm　　(b) 绕线架

图 8　变压器的磁芯

铁芯的截面积

$$2.1\times3.5\approx8.1(\mathrm{cm}^2)$$

当选定磁芯的时候，选择中心截面积在 8～10 cm^2左右的磁芯。关于磁芯的材质，最近的产品一般称为定向磁芯。将它弯折的时候能够柔软地弯曲。而过去一直使用的称为 T 级的磁芯弯曲时就折断了。也有硬的材质。大体说无论哪种都可以。

变压器功率容量的目标是，在通过正弦波的普通的变压器的情况下，铁芯的截面积 A 为

$$A=1.3\sim1.5\sqrt{W}$$

式中 W 为负载功率。用该式计算得到：

$$W=(8.4/1.3)^2\approx40$$

能够制作约 40W 程度的输出变压器，其匝数由下式计算：

$$V=4.44fNAB_{\mathrm{m}}\times10^{-8}(\mathrm{V})$$

式中，V 为电压(正弦波有效值)，f 为频率，N 为匝数，A 为铁芯截面积，B_{m} 为最大磁通密度。

如果是 T 级材质的磁芯 B_{m} 为 0.8～1.1T(8 000～11 000Gs)左右，定向磁芯的值比它稍大。一般地，作为简略计算的公式，在 T 级的普通的磁芯中

$$\text{每 1V}\begin{cases}50\mathrm{Hz}\rightarrow\dfrac{45}{A}\text{匝}(A\text{为截面积}(\mathrm{cm}^2))\\ 60\mathrm{Hz}\rightarrow\dfrac{38}{A}\text{匝}\end{cases}$$

在稍高级的磁芯中

$$\text{每 1V}\begin{cases}50\text{Hz}\rightarrow\dfrac{38}{A}\text{匝}\\[2ex]60\text{Hz}\rightarrow\dfrac{32}{A}\text{匝}\end{cases}$$

用上式计算也没有大的问题。

由于是施加 DC 12V 电源使之开、关，上述每 1V 的匝数的计算是用有效值计算的，最大磁通密度是用波高值考虑的。现在，在有效值的正弦波变压器中，每 1V 在 60Hz 下为 32/A 匝，考虑用直流时：

（直流的）每 1.41V 在 60Hz 下为 38/A 匝。

因此，在直流，平均 1V 为 38÷1.11≈27。

在图 9 所示的变压器的图中，流过 12V 时的 n_1：

n_1 = 27/A×12(V) = 27/8.4×12≈38(匝)

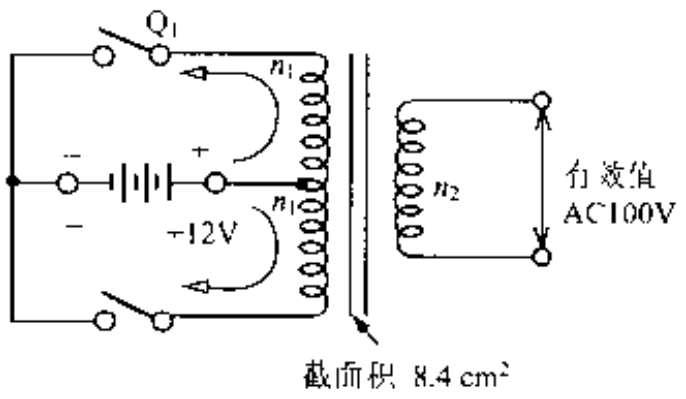


图 9

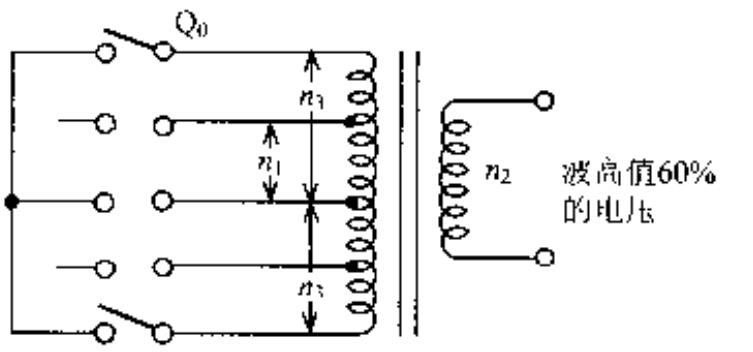


图 10

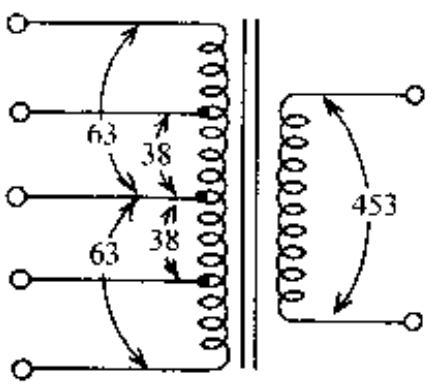


图 11

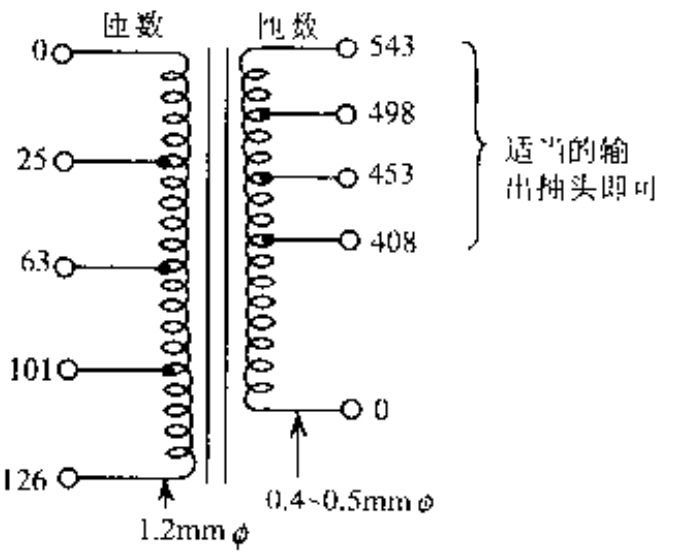


图 12

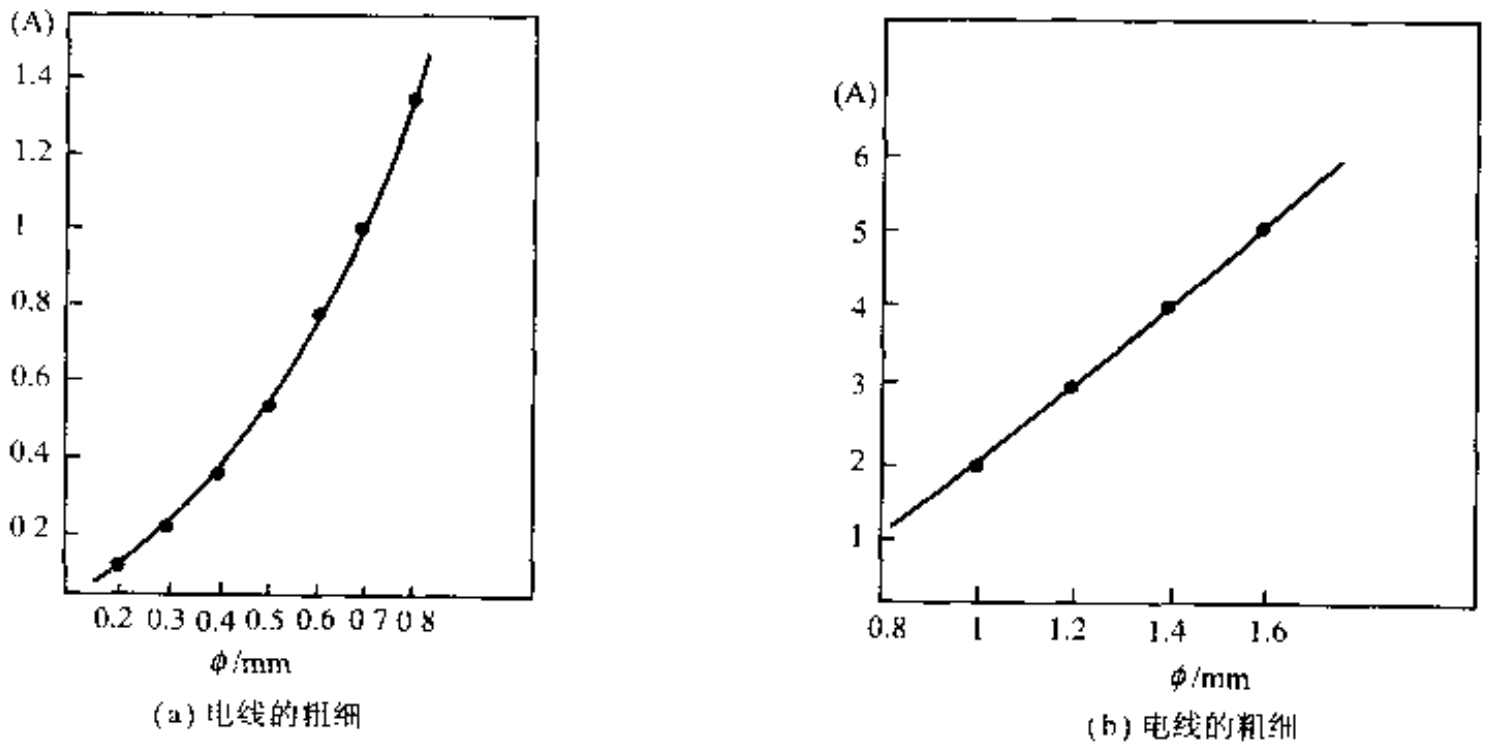
n_2，为了使有效值为 AC100V，则

n_2 = 27/A×141(V) = 27/8.4×141≈153(匝)

由于 n_2 决定了，为了使在 DC 12V 下 n_2 的电压为 60%，n_3 的匝数为(参见图 10)：

$n_1 \div 0.6 - 38 \div 0.6 = 63$(匝)

总结一下，则如图 11 及图 12 所示。线圈的安全电流大体可由图 13 推定。



(a) 电线的粗细　　(b) 电线的粗细

图 13　线圈的安全电流

印制电路板

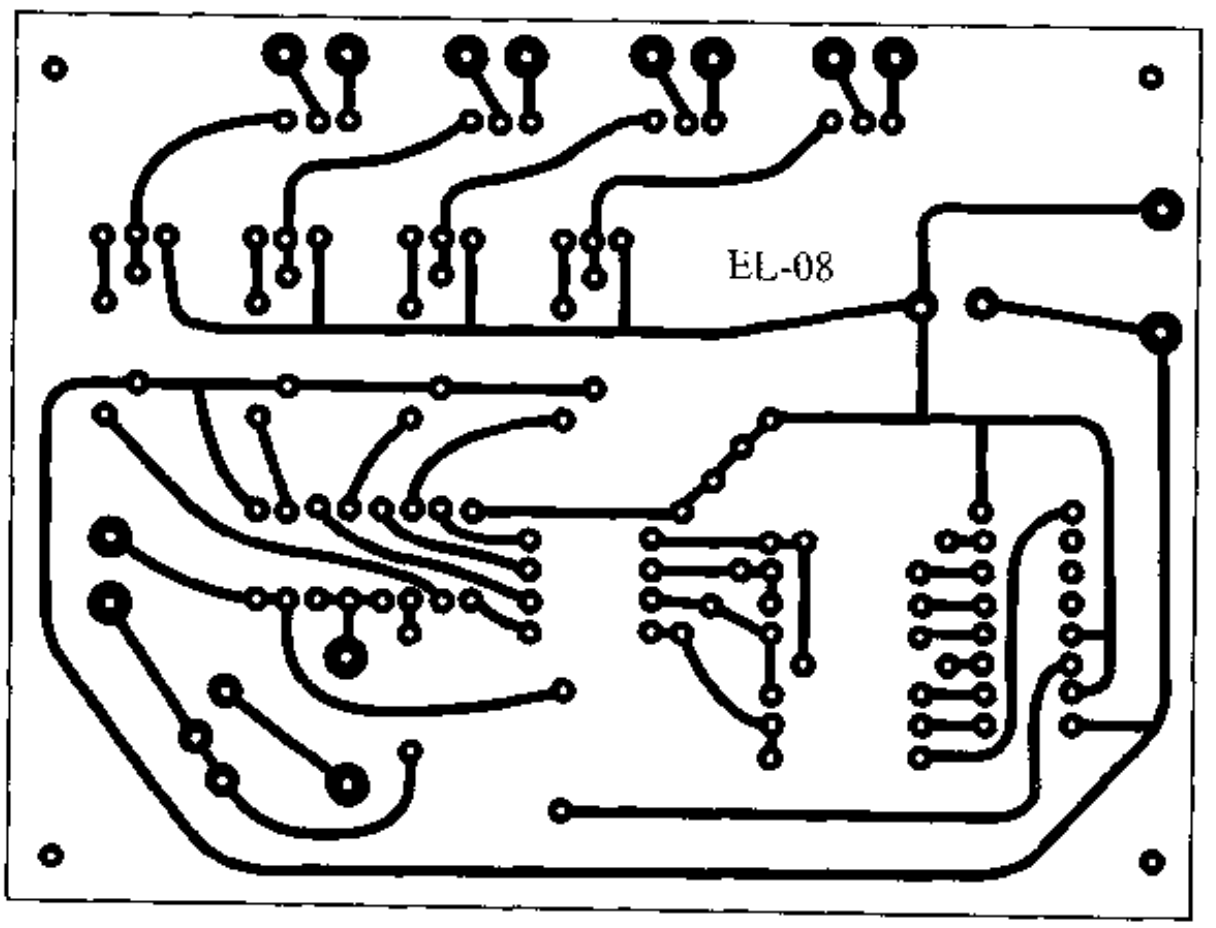




图 14　印制电路板的图(原尺寸大小)

由于在 DC 12V 侧不是连续地而是交互地流通，假设用 ϕ1.2mm 的电线，安全电流是 3A，由于负担是 1/2，虽然不能达到 2 倍的 6A，但是流过 4～5A 理应不会有问题。

由于 AC100V 侧是连续的，可按图示。

卷线工作如果有专用的卷线机是再简单不过的事情，如果用手工制作，先制作绕线轴，用手拿着绕线轴，一圈一圈地绕，因为匝数少，电线粗，应该能够卷成。

总之，由于制作变压器是电气工作者的第一步，请不断努力，考虑用手工制作。

实物布线图

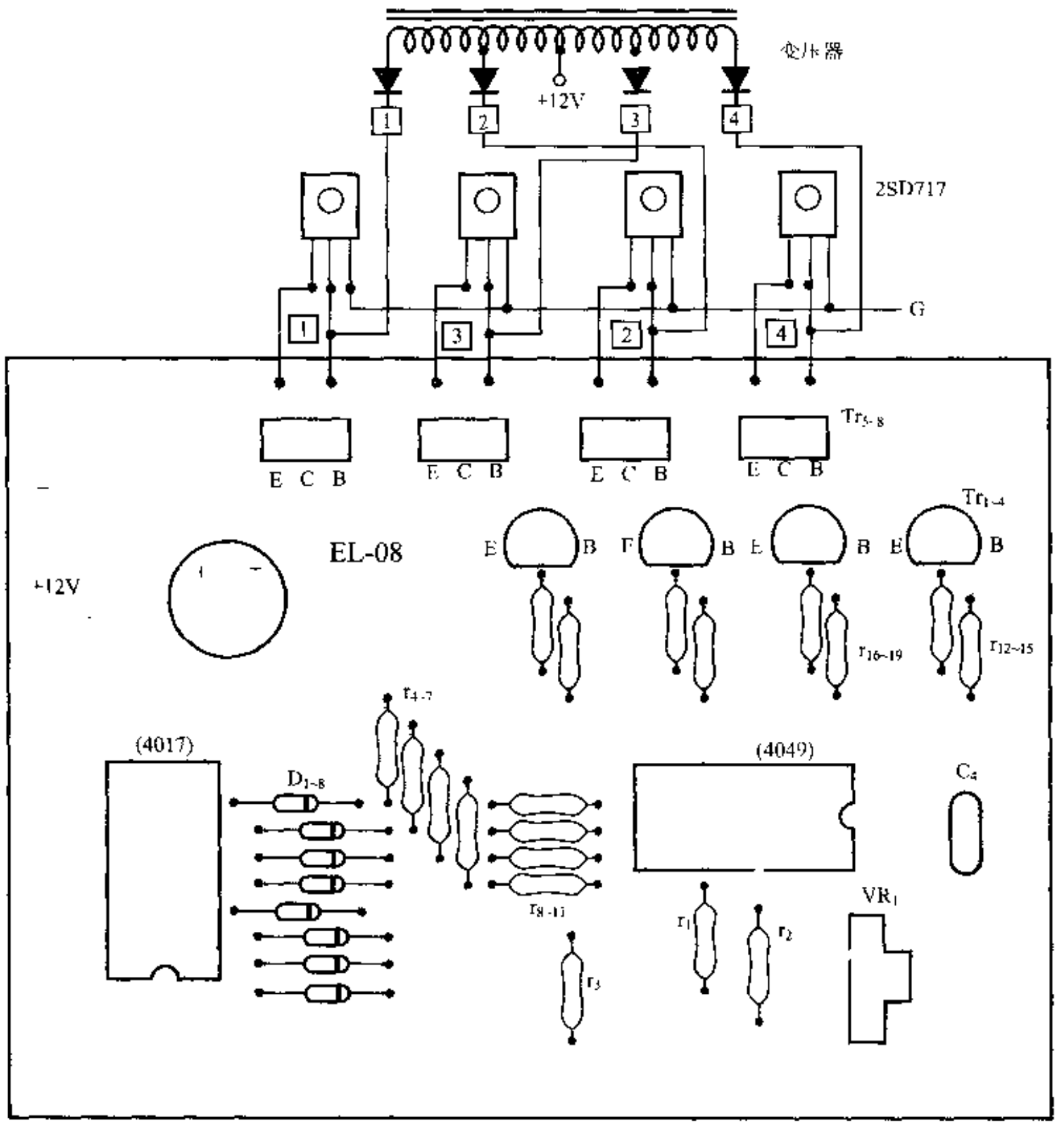


图 15　实物布线图

试运转和调整

(1) 电子电路的测试

在图 1 所示电路中，开始时先把变压器的 12V 的输入预先去掉。一旦接通电源(+12V)，应该仅仅 IC 电路工作。

① 用同步示波器观察时钟的振荡。用 VR_1 将它调整到 500～600Hz。这是由于时钟频率一般在 500～600Hz 左右为好。总之先决条件是能在目的范围内可变地产生振荡。

② 用同步示波器观察二极管合成的输出波形。成为图 16 所示的 1 个和 2 个的不同的波形。

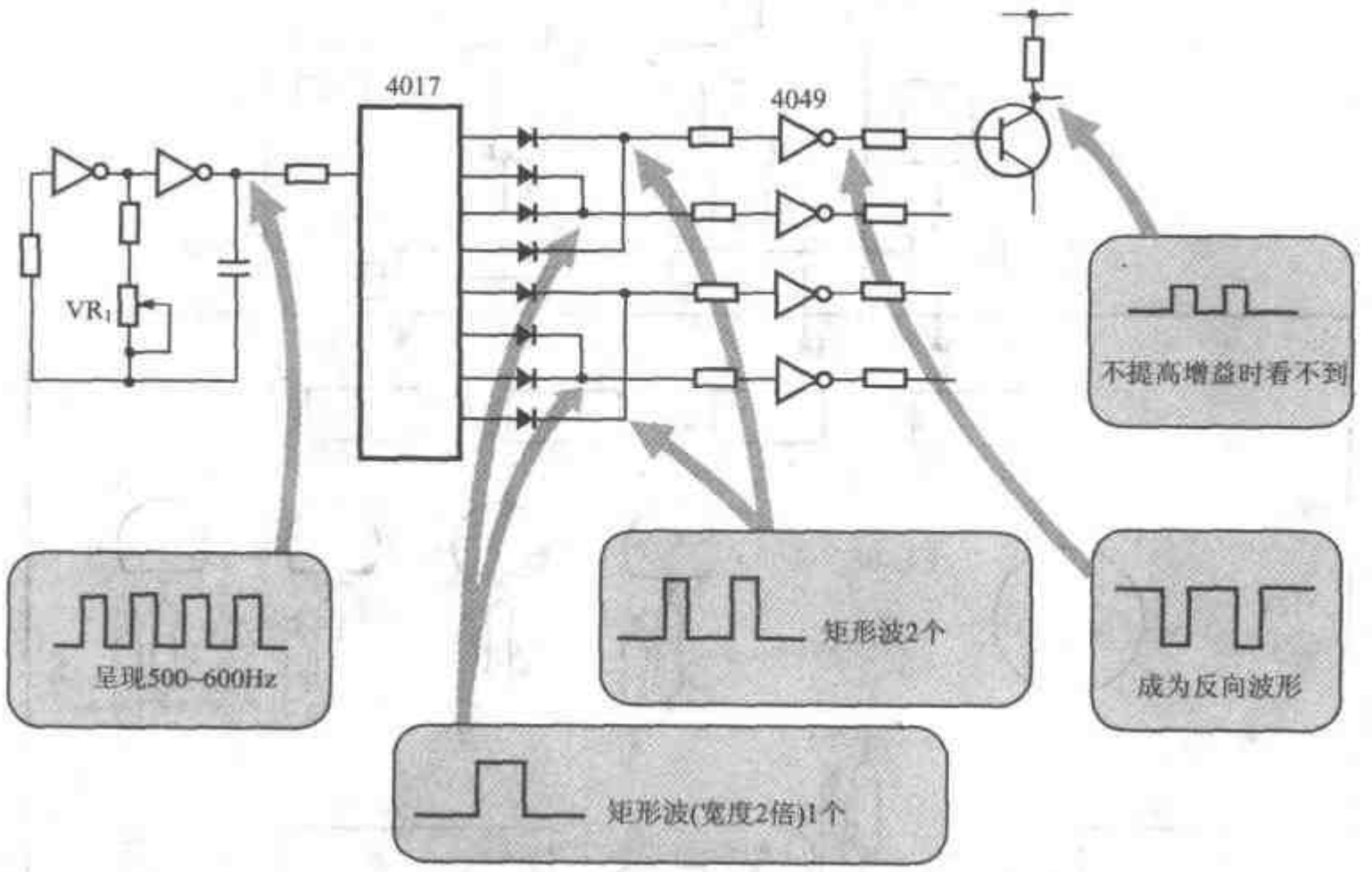


图 16　二极管的输出波形

③ 确认通过转换器 4049 后成为相反的情况。4 个全部这样。

④ 观察晶体管的集电极。如果不提高增益就看不到。因此在难于看到的时候，可不观察这里。

(2) 运转

在变压器的 AC 100V 侧什么也没接，处于敞开状态。

连接变压器的+12V，接上 5A 的保险丝，也接上 5A 或者 10A 的电表，将

电源 ON。

虽然是无负载的，但是若有 1A 程度的电流流通属于正常。如果电流为 5A 以上或者一点也没有电流流通，一定有什么原因。

在了解了无负载情况下有 1A 程度的电流流通后，一度暂时停止，在 AC100V 侧加上电阻负载。在 AC100V 侧加上 1kΩ 10W 程度的电阻，再次接通电源，用同步示波器观察电阻两端的电压波形。如图 17 所示，如果出现最初设计的波形就获得成功。如果不能出现预想的波形时，变压器 12V 侧的抽头的连接有错误。

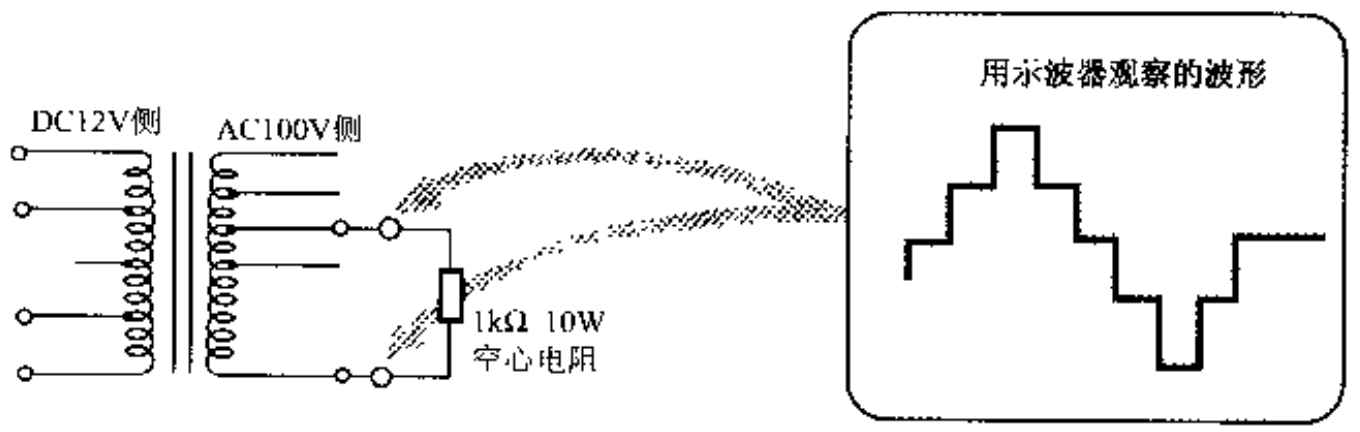


图 17　电阻两端的电压波形

实际观察印刷电路板的实物图就能明白，由于图形的关系，晶体管的输出侧的配置并不是按顺序排列的。这一点请特别注意，可变顺序以得到这样的形式。

(3) 调整

拆掉电阻负载，再次在无负载状态下运转。假设流通 1A 电流。

用同步示波器一边观察在无负载状态下运转的电流和波形，一边将 1μF 的 MP 电容器连接在某一个抽头上，于是电流就产生变化。选择电流最小的抽头。波形也稍微变圆。将小型变压器的 AC100 线圈连接到某一个抽头上试试看。如果电流进一步减小，当电流小于 0.5A 时，就成功了。波形也接近正弦波(参见图 18)。

转换器虽然能从 DC12V 的蓄电池供给电能，但是不能供给交流负载的无效电功率。如果从交流侧观察时，转换器用变压器也是交流功率负载，为使它正常运转，必须供给无效电功率。电容器(考虑相位超前补偿用电容器)和小型变压器(电抗)应该是无效功率源。本书虽然是阐述电子技术，但从这里开始就进入电力技术领域，连接各种各样的 L、C，还有适当的负载(与灯泡等相比马达更好)，一边观察波形，输入电流，输出电压，一边求出最佳值。

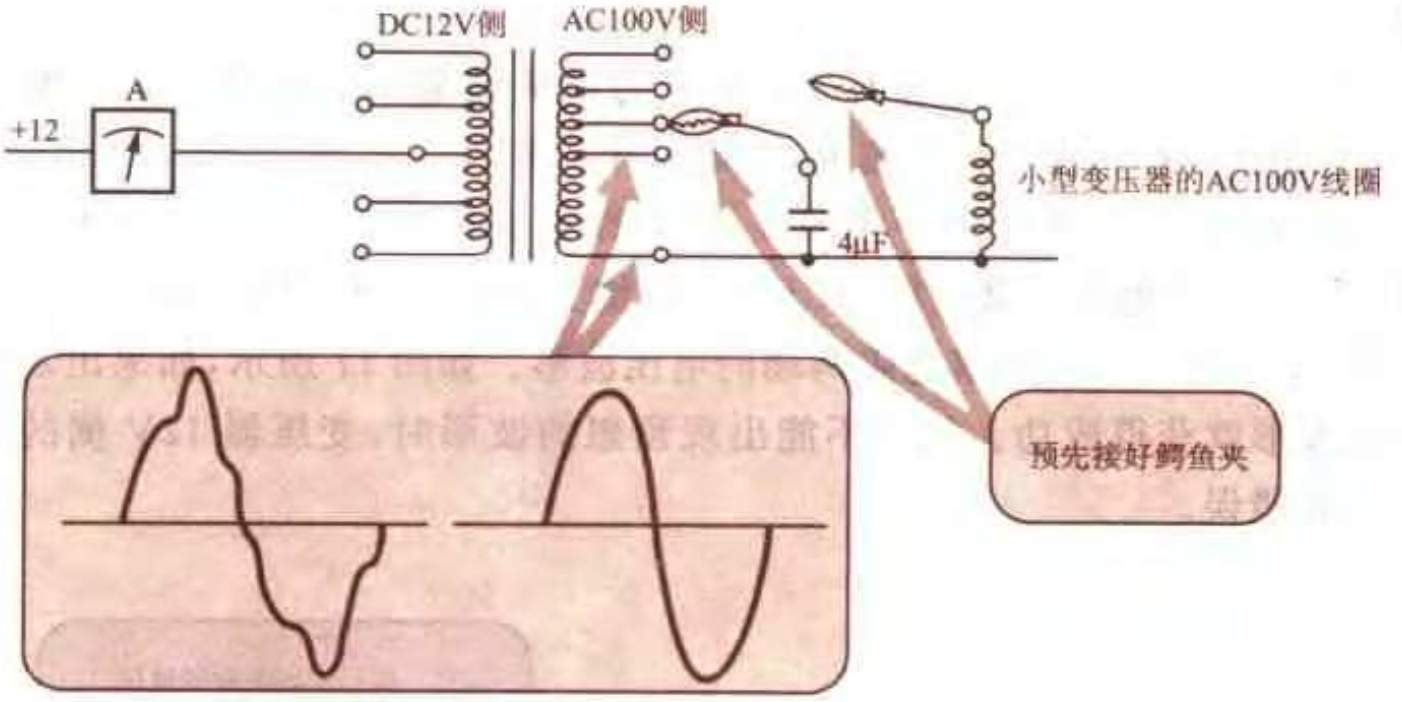
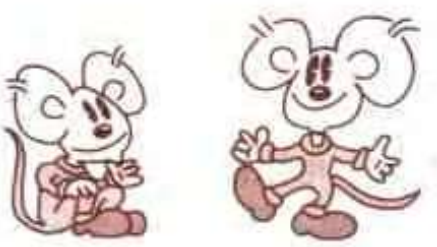


图 18　调整后的波形



9 电源转换器DC12V→AC100V 50Hz/60Hz正弦波输出100W转换器的制作方法

与前一节的40W电源转换器的原理相同.这次,制作100W输出容量的电源转换器.从实用性考虑最好是使用DC24V的蓄电池电源.这里,与前一节的例子一样使用DC12V的蓄电池.

[规格]

输入	DC12V	120A·h的汽车用蓄电池
输出	AC100V	50~60Hz,正弦波输出　100W
输出电压的调整		安装滑线电阻调压器,进行手动调整

开关波形

如图 1 所示,将一个周期分割成 20 步,即将半波形分割成 10 步,制作波形。

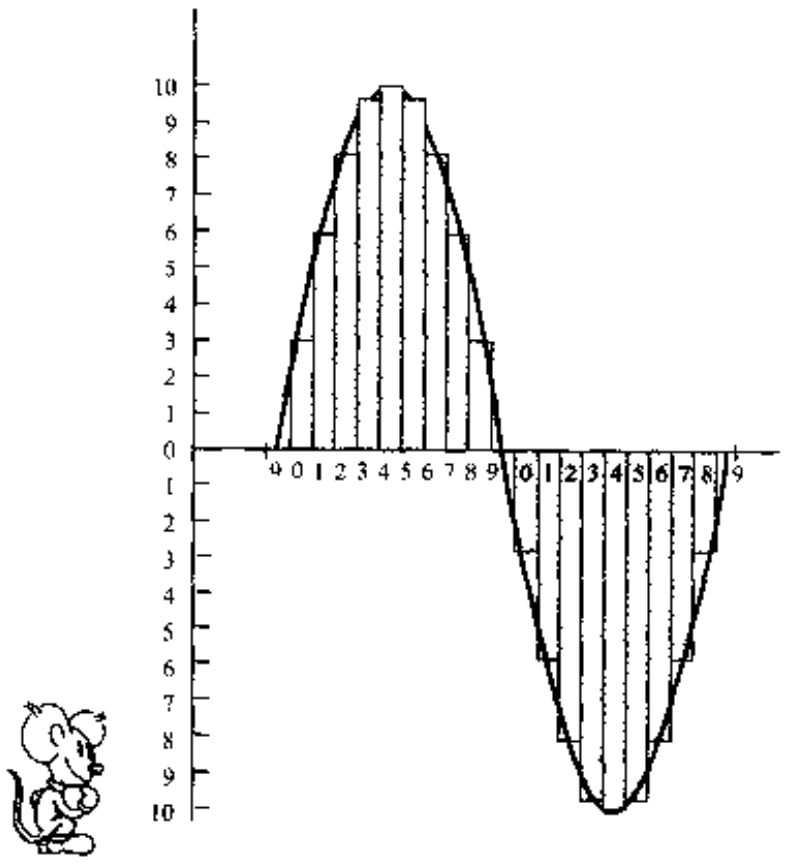


图 1

控制电路

如图 1 所示，虽然是正半波 10 步，负半波也是 10 步，合计 20 步，由于正、负是完全对称的，与前一节的例子相同，是将 4017 的 10 步的记数正负交互更换输出的方法。

图 2 示出电路图。

部　件		
IC_1	4017　10 步(10 级)10 进制计数	CMOS IC　以上参照图 11
IC_2	4013 D 型 触发器	CMOS IC
IC_3，IC_4，IC_5	4011 NAND 门 IC 3 个	CMOS IC
IC_6，IC_7	4050 缓冲 IC 2 个	CMOS IC
Tr_1～Tr_{10}	2SC1815 最好是 Y 型(H_{FE} 120～210) 10 个	
Tr_{11}～Tr_{20}	2SC3421 最好是 Y 型(H_{FE} 120～210) 10 个	
Tr_{21}～Tr_{30}	2SD717 最好是 Y 型(H_{FE} 120～240) 10 个	
	2SD717 是功率晶体管，用云母绝缘安装在散热用的铝板上	
	2SC1815，2SC3421 安装在印刷电路板上。不用散热	
D_1～D_9	硅二极管 1S1588 相当产品也可以 9 个	
D_{10}	稳压二极管 RD-6A 相当产品也可以	
D_{11}，D_{12}，D_{16}，D_{17}	10A 100V 以上，硅整流器 例 10GL2CZ47 4 个	
D_{13}～D_{15}，D_{18}～D_{20}	5A，100V 以上，硅整流器 例 5GUZ47 6 个	
r_1	1MΩ 1/4W	
r_2	10kΩ 1/4W	
r_3	100kΩ 1/4W	
r_4～r_8	50kΩ 1/4W(17～56kΩ)5 个	
r_9	500～600Ω 1/2W 以上	
r_{10}～r_{14}	10kΩ 1/4W 10 个	
r_{20}～r_{23}	3kΩ 1/4W 10 个	
C_1	0.01μF，50V 聚酯薄膜电容器或者薄膜电容器，不能用陶瓷电容器(由于温度特性)	
C_2	200μF，16V 滤波用	
C_3	12μF/250V MP 电容器	
电表	AC150V，DC20A	
滑线电阻调压器	AC100V，3A 级的小型产品	
变压器 T	铁芯的截面积 17～20cm² 的产品	
VR_1	100kΩ B 型	
开关，保险丝，接线柱，旋钮		



电路图

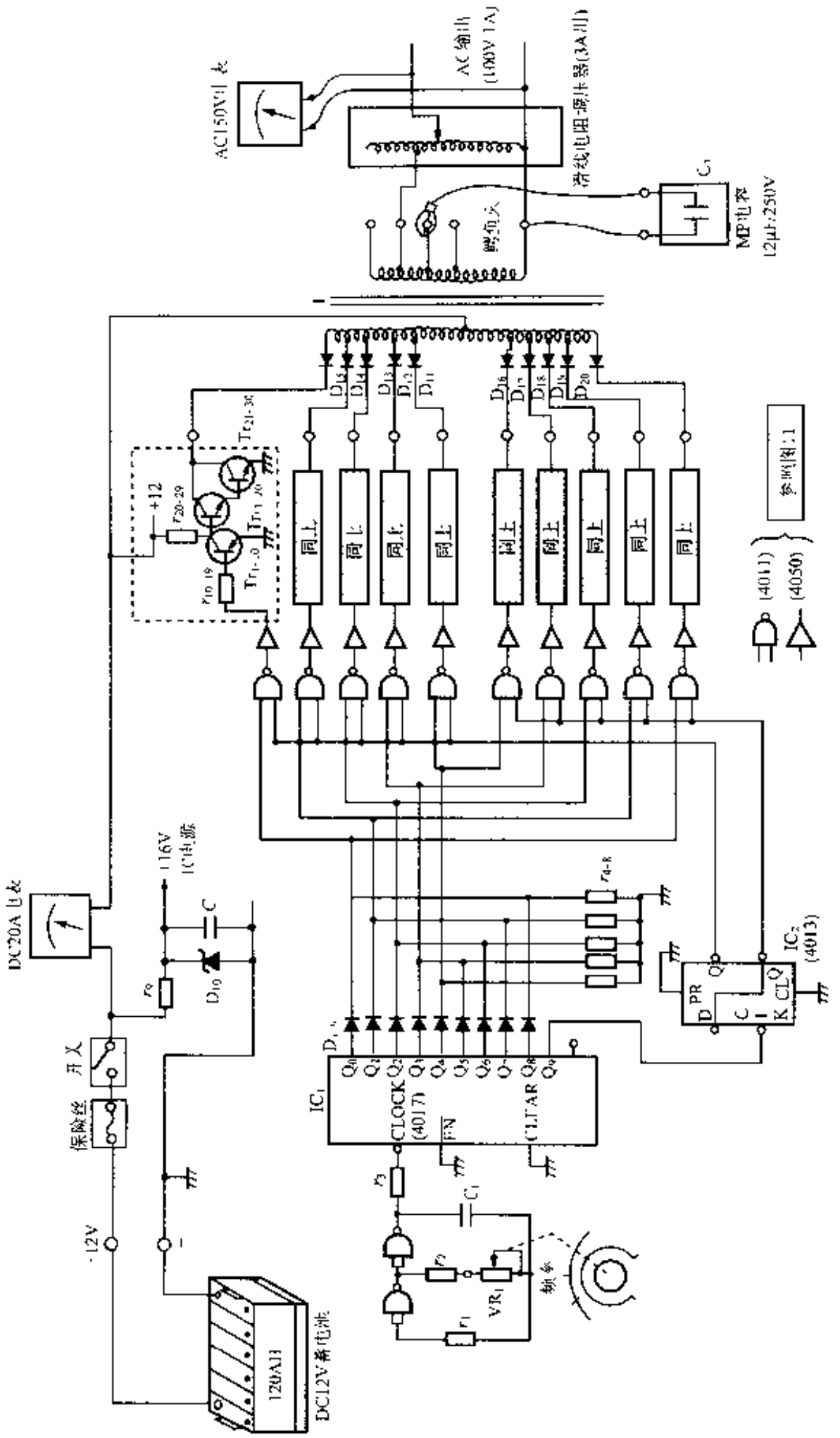


图 2　转换器的电路图

工作原理

边观察图 1 和图 2，边分析 4017 的 10 步的计数器的输出是怎样变化的，就能够理解电路的工作原理。

Q_0 和 Q_8 时，输出电压为 30%的抽头导通
Q_1 和 Q_7 时，输出电压为 60%的抽头导通
Q_2 和 Q_6 时，输出电压为 80%的抽头导通
Q_3 和 Q_5 时，输出电压为 98%的抽头导通
Q_4 时，输出电压为 100%的抽头导通

这里给出的%值只是一个示例，最好正确的进行计算设计。

Q_9 时，输出是零。该 Q_9 进入 4013 的触发器中。在 Q_9 上输出的脉冲相互间，将触发器的 Q 和 $\overline{Q}$ 交互地更换到 H，L 电平（H 时是电源电压 6V，L 时是零电压）。

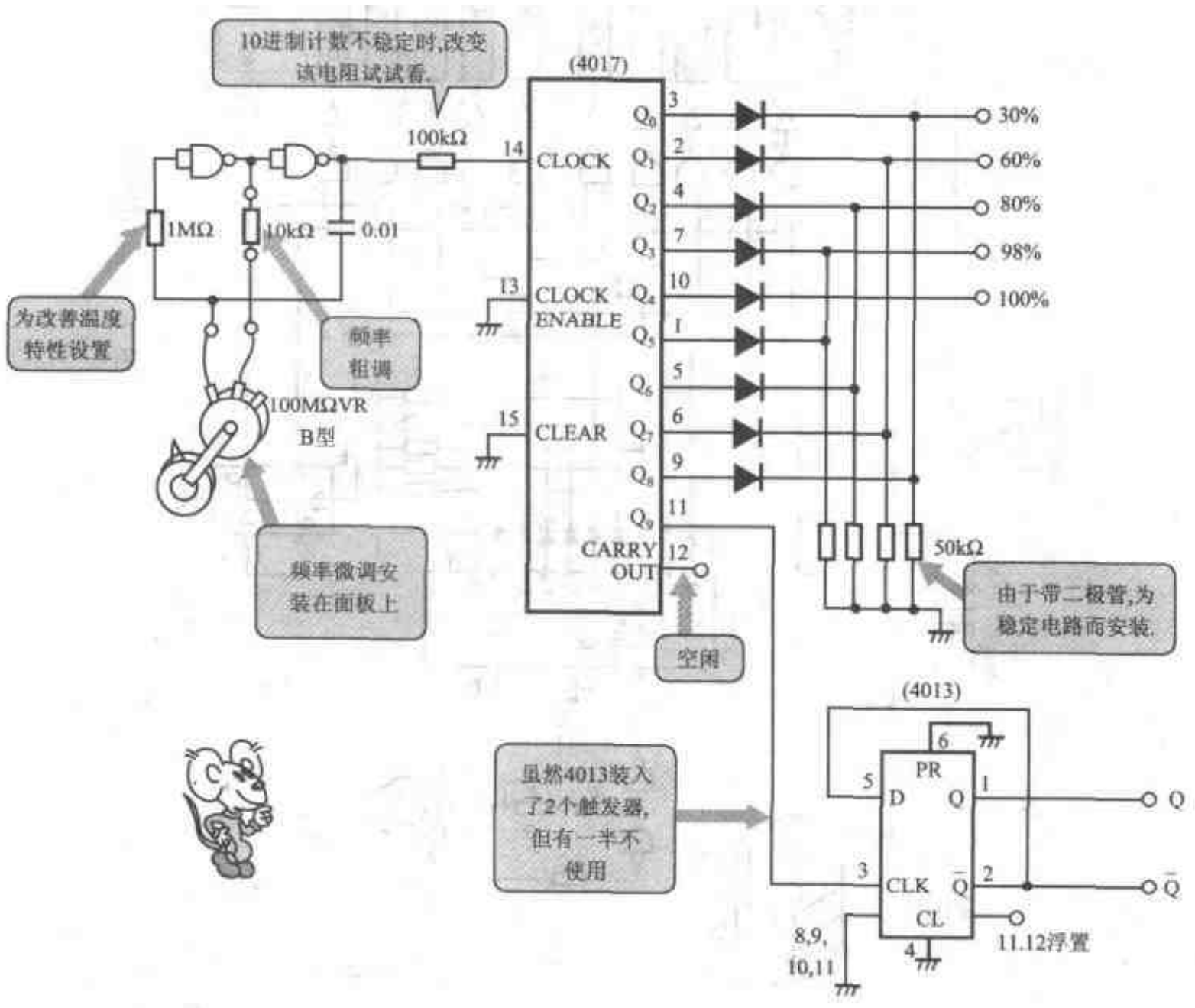


图 3　IC_1，IC_2 的外部电路

用触发器的交互更换的 Q、$\bar{Q}$ 信号输出，将 Q_1～Q_8 组合的 5 级的输出，输出成输出波形的正半波和负半波。变更变压器的抽头的连接。

(1) IC_1、IC_2 的外部电路(参见图 3)

(2) IC_3、IC_4、IC_5、IC_6 的外部电路(参见图 4)

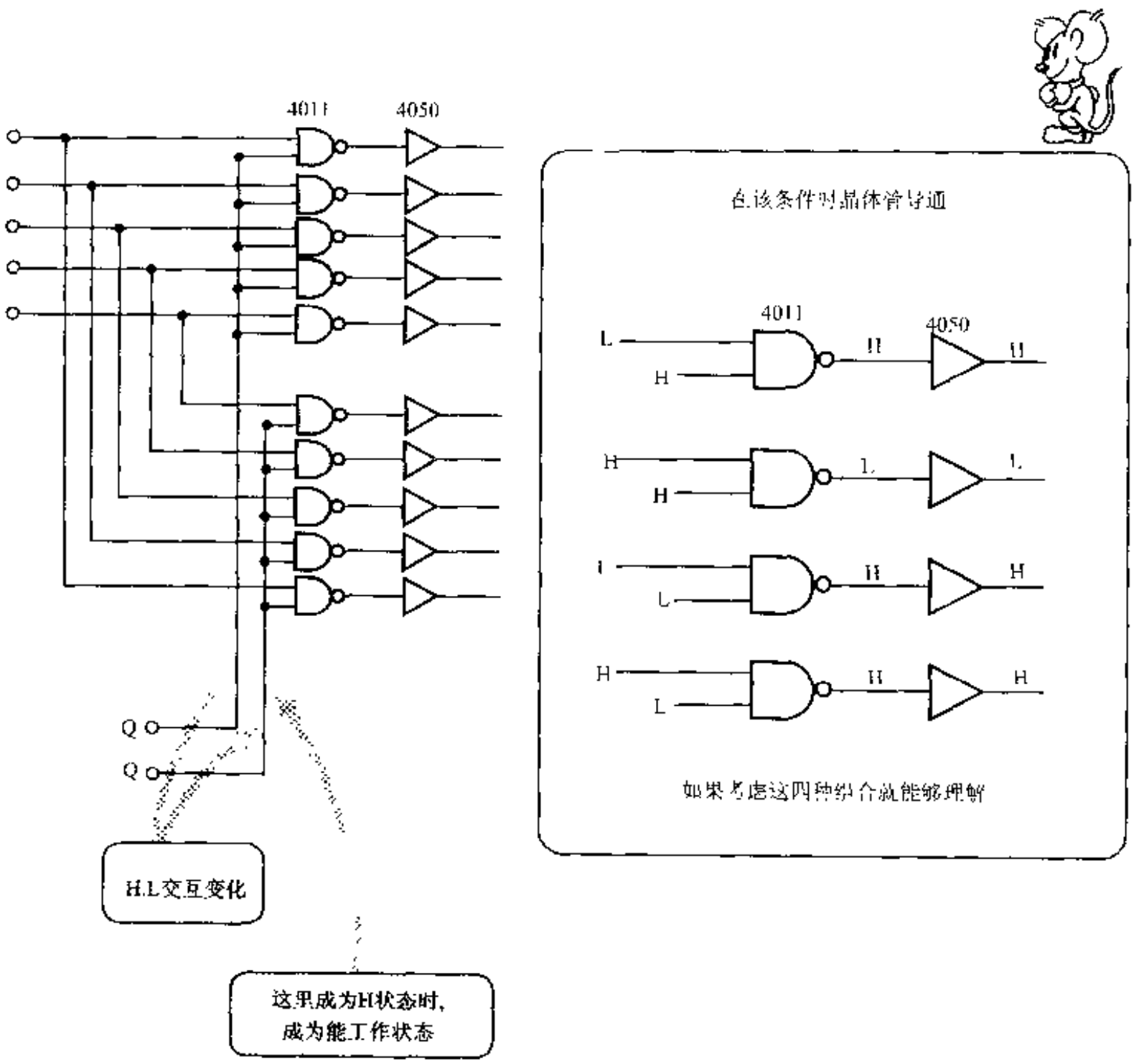


图 4　IC_1～IC_6 的外部电路

附加 4050(缓冲 IC)是因为 4011 的功率小，目的是增加功率。

(3) 触发器的电路(参见图 5)

触发器电路是 1/2 分频电路。

不太了解数字 IC 电路基础知识的读者，请参考《数字 IC 实验和工作手册》(续)(OHM 社)。

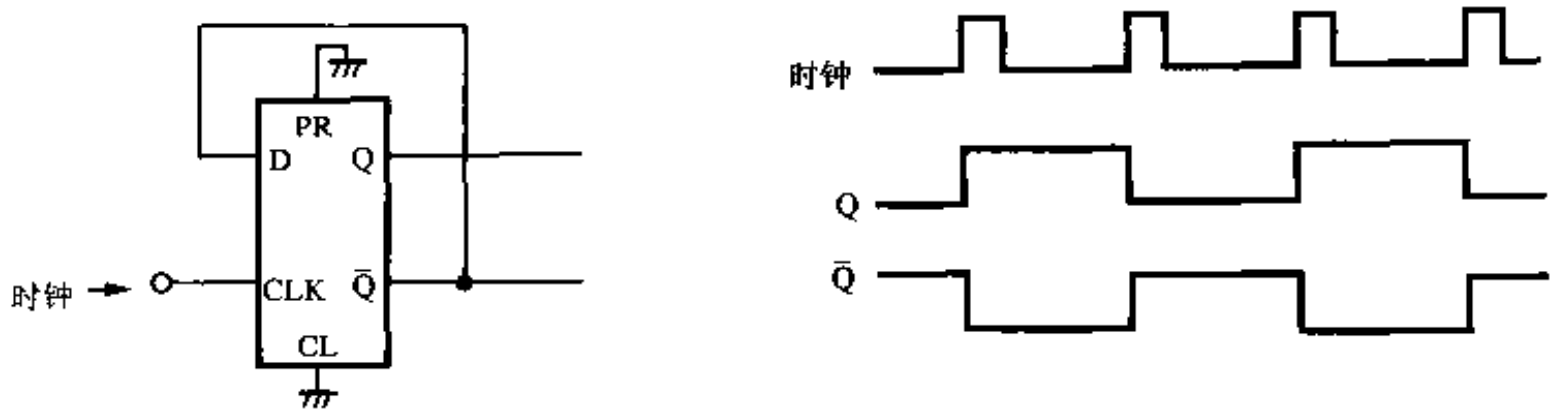


图 5　触发器电路

(4) 晶体管电路(参见图 6)

晶体管电路的设计与前一节的 40W 时完全相同。(40W,对于这里所考虑的电路制作,也许可以说是过大设计)。

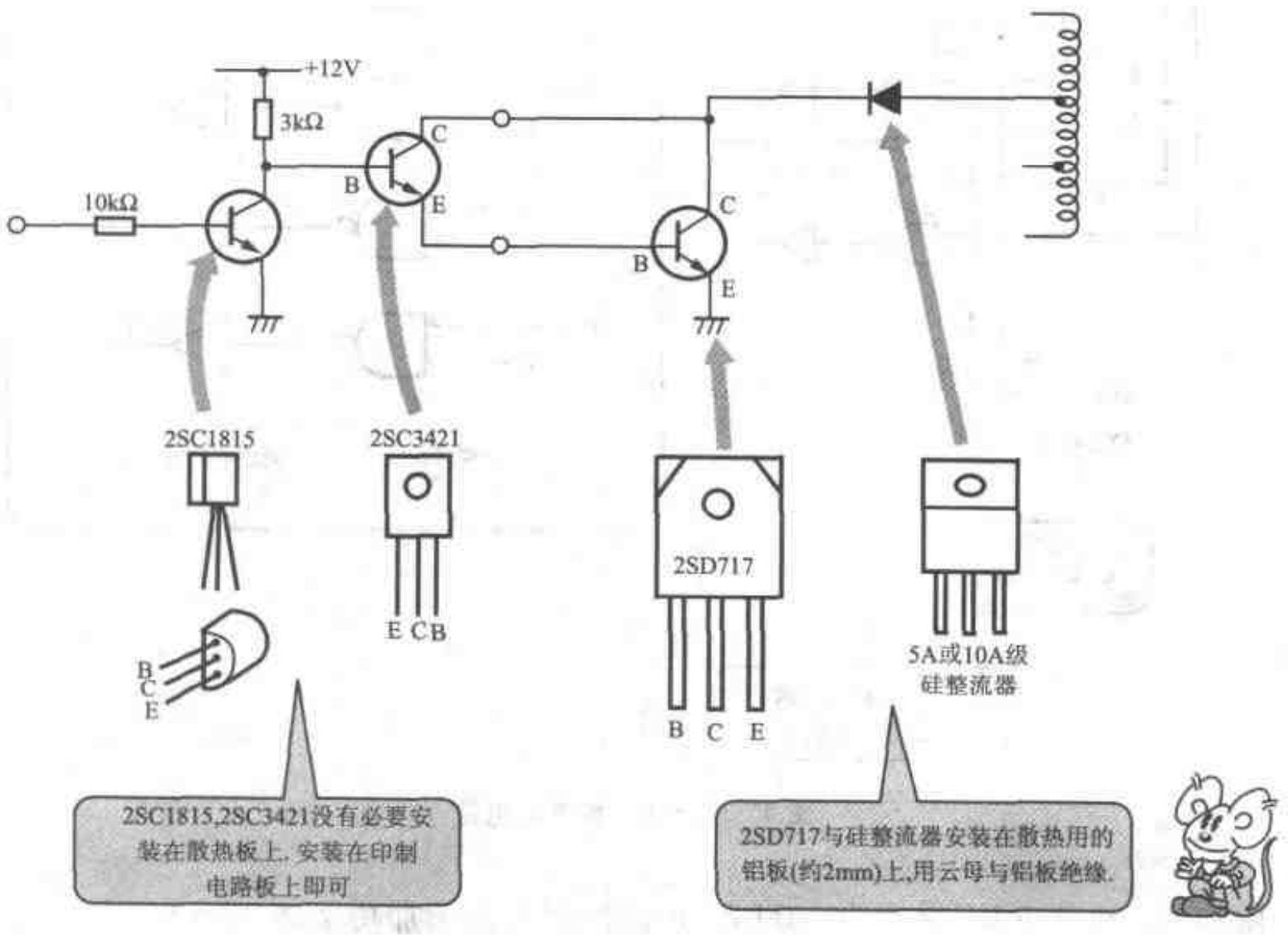


图 6　晶体管的电路

(5) IC 的电源电路(参见图 7)

稳压二极管是与 RD-6A 相当的产品,只要是在 5～7V 间的产品,多少电压

都可以。在稳压二极管上流通 5～10mA 的电流。

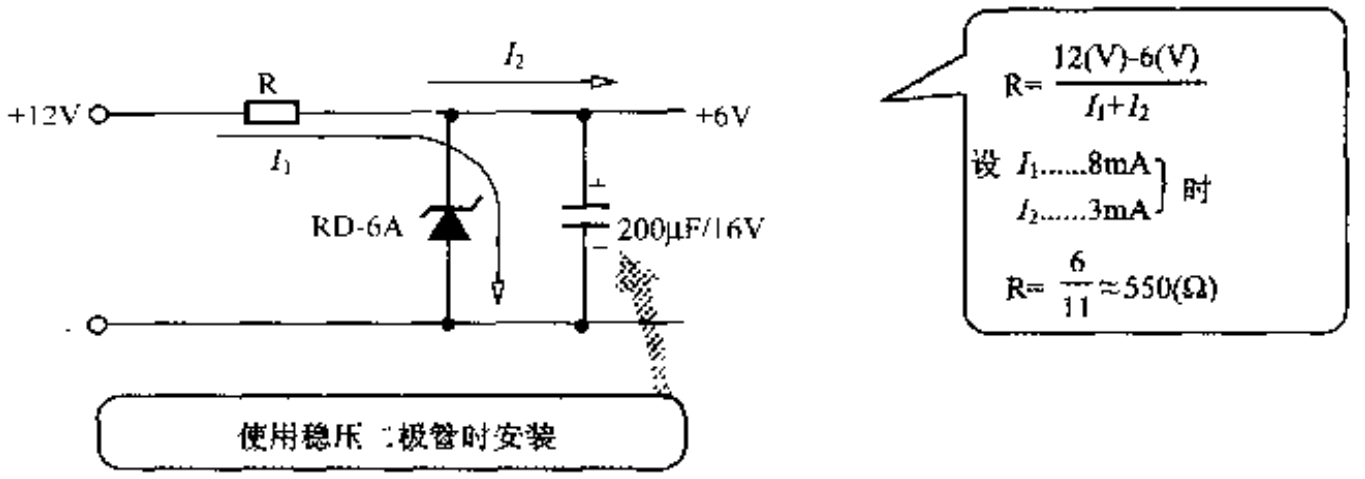


图 7　IC 的电源电路

变压器的设计

为了通过 100W 的负载，与前面的 10W 相比，这是相当大型的变压器了。作为大体能找到的，考虑图 8 那样的大小为好。如果能得到新的铁芯更好，得不到新的铁芯时，寻找类似大小的旧变压器，将它拆开取出铁芯。

在图 8 的铁芯的截面积是：

$$3.2cm\times 5.5cm=17.6cm^2$$

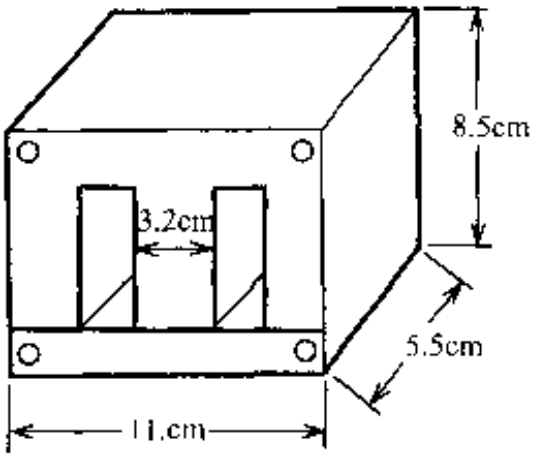
选择比这个面积大的铁芯即可。

请各位注意，总想用小的铁芯来设法完成变压器是不合道理的，选用大的铁芯是成功的诀窍。

手工制作的时候，将图 8 所示的绕线架烘烤或者加工环氧树脂板（与印制电路板的衬底相同），用阿龙 α（(Alon-α)一种瞬间黏接剂）等黏接。使它的尺寸与铁芯的尺寸正确吻合，绕线架要制作结实，用手拿着绕线架，就能够一圈一圈地绕线。由于电线粗，匝数少，用手工绕制已经足够。组装完毕后，如果不能将铁芯勒紧，铁芯就会发出嗡嗡的响声。

线圈的计算，请参照前一节 10W 的例子，自行设计！

大体上，图 8 所示的铁芯的设计例示于图 9。



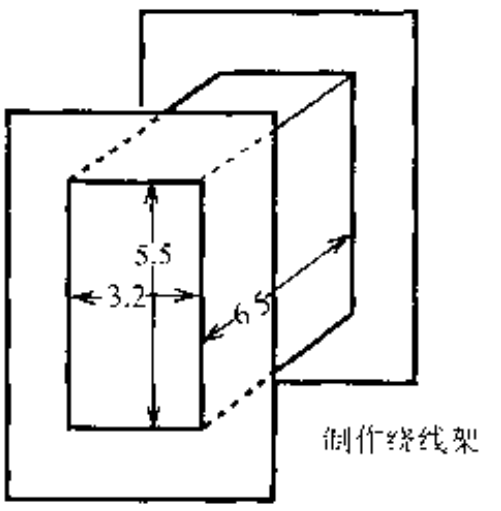


图 8

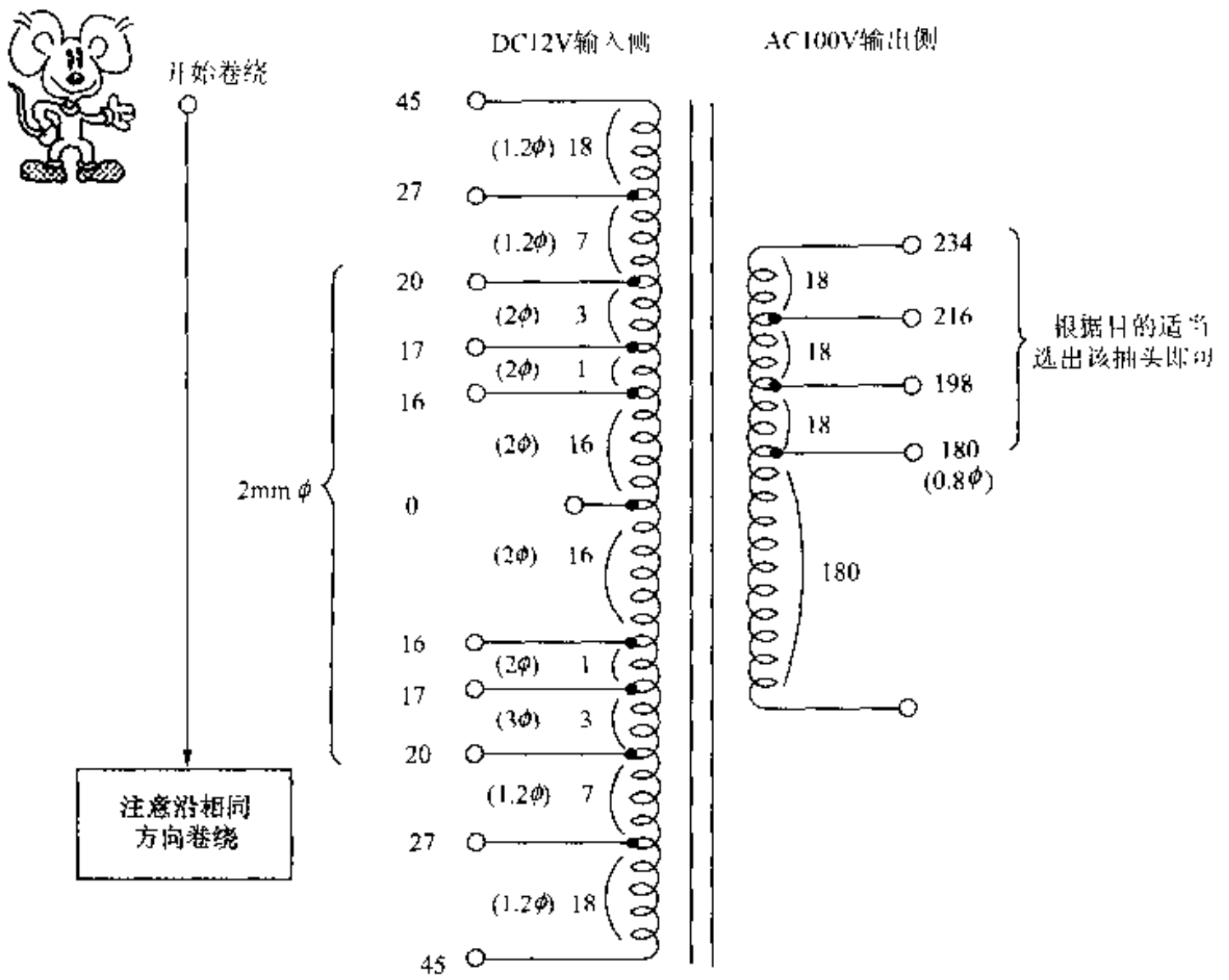


图 9

DC12V 侧的中心部分使用 φ2mm 左右的粗导线，使得能够通过 10A 电流。而在端部绕 φ1.2mm 的电线已经足够。AC100V 侧绕 1A 的连续规格的 φ0.8mm 左右的电线。DC12V 侧应该成为中心抽头。从卷绕开始就要注意不要搞错卷绕方向。

变压器的测试是在 AC100V 侧实际施加 AC100V 电压，用万用表测试 DC12V 侧的电压就明白了。

印制电路板

印制电路板用单面衬底制作，如实体图所示用表面连接线连线。图中的大的圆圈是打进去的 φ2mm 的铆钉。

参见图 10。

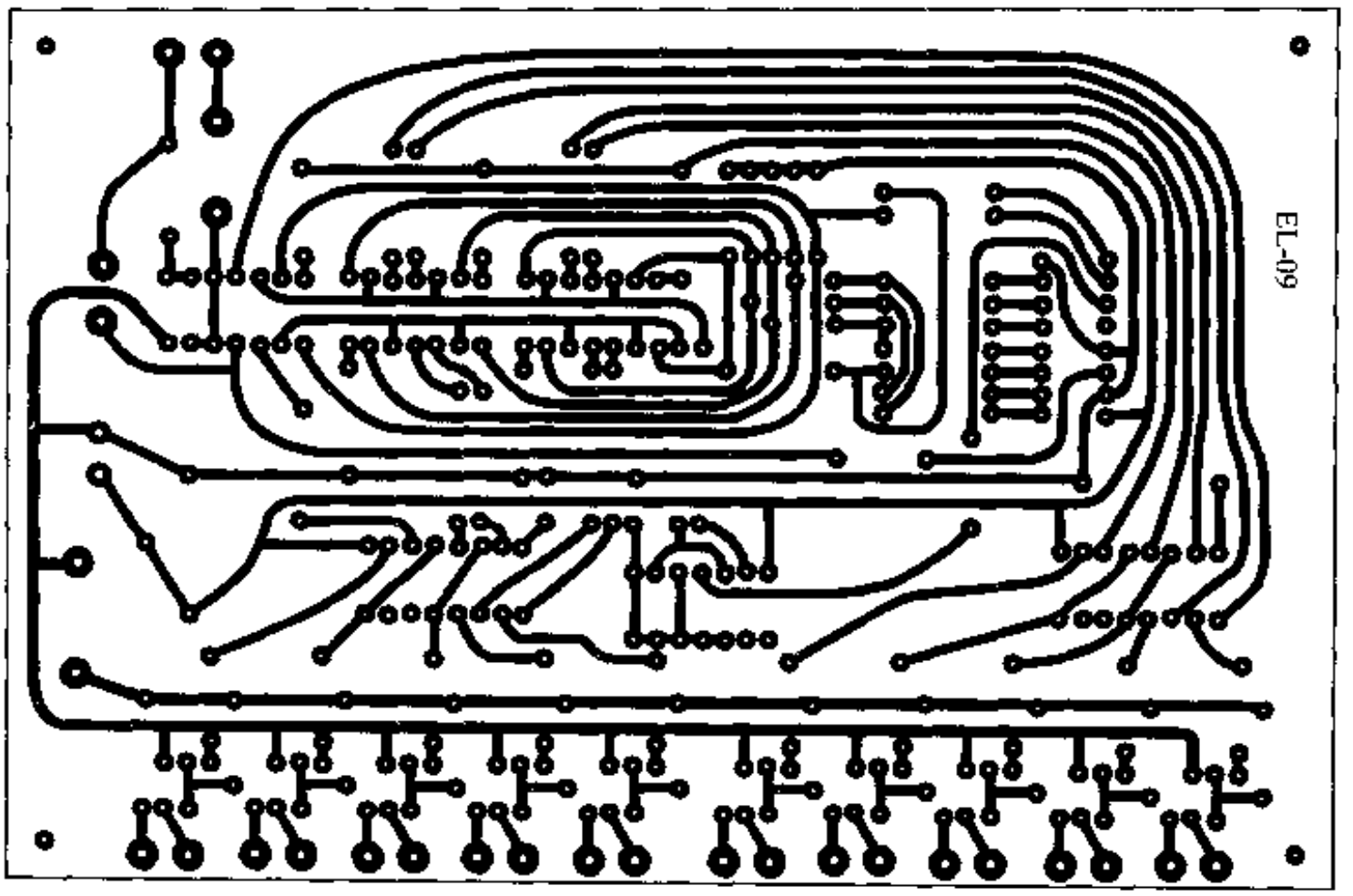


图 10　印制电路板图(原尺寸大小)

调整,运转,其他注意事项

(1) 考虑电路的原理就知道,振荡频率是输出波形(50/60Hz)频率的 20 倍。在输出波形频率为 60Hz 的情况下,60×20=1200(Hz)。即,进行调整产生 1.2kHz 的振荡。

(2) 在输出为 100W 的情况下,由于从蓄电池要流通 10A 程度的电流,必须使用能耐这样大电流的粗导线。

(3) 运转时,首先将加在变压器中点上的 12V 取下,仅仅向 IC 电路供给 12V,确认 IC 电路的波形。

(4) 最初先在无负载状态下进行运转试试看。滑线电阻调压器和 C_3 也都预先取下。

施加 12V 电源时,电流应在 10A 以下,当电流大于 10A 时,需要再一次检查是不是有错误的地方。如果电流小于 10A,可改变频率试试看。如果存在电流减少的方向,就预先设定在电流减少的地方。

其次,连接 C_3。连接减少电流的抽头,再次改变频率,设定电流减少的位置。虽然变压器的制作与设计值之间会有差值出现,在无负载的情况下如果电流是 1A 左右,大体上就合格了。

实物布线图

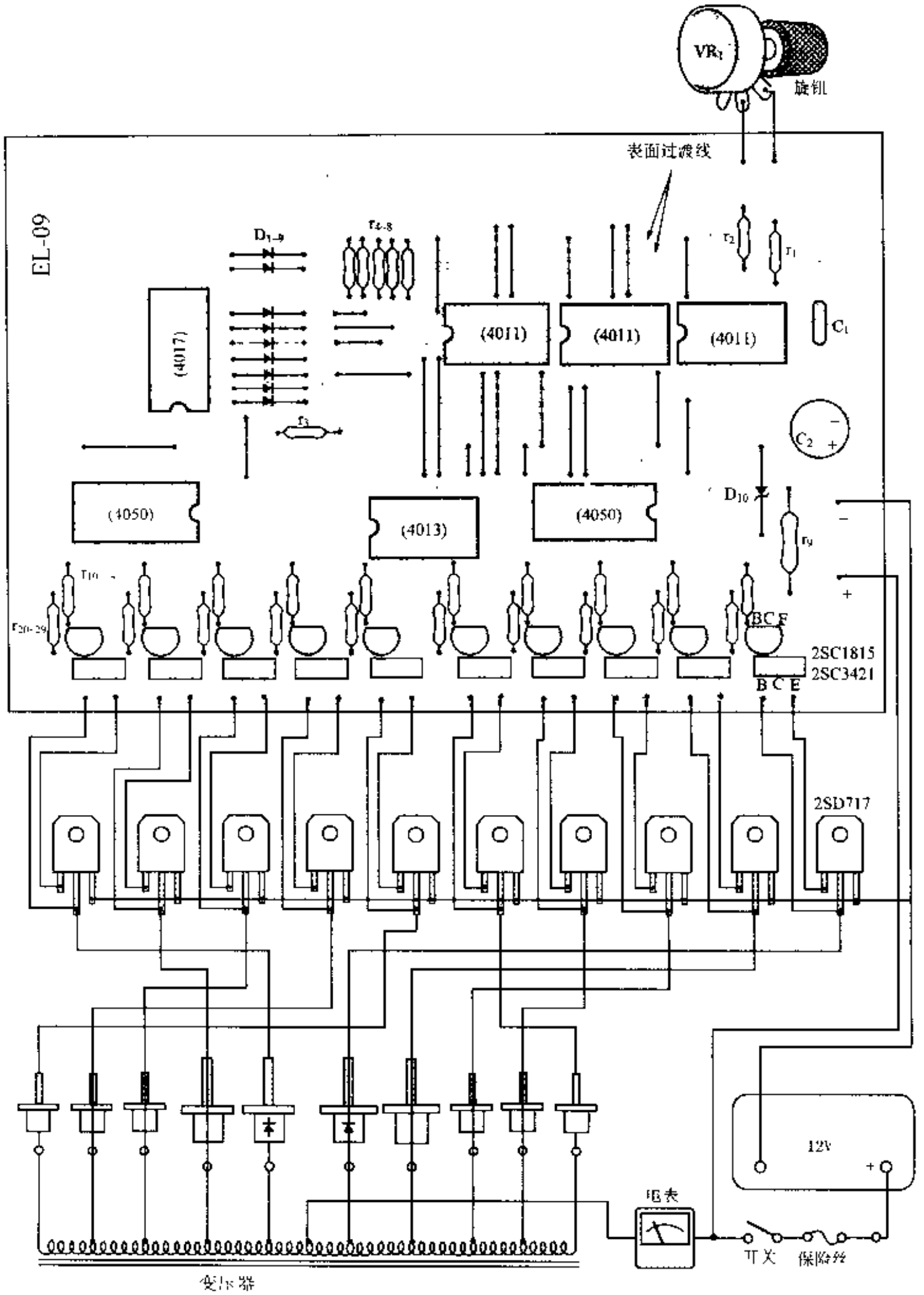


图 11　实物布线图

（5）测定输出侧抽头的电压，在无负载的情况下，在 AC100V 程度的抽头上连接滑线电阻调压器。变更 C_3 的连接抽头，设定在电流最小的抽头上。

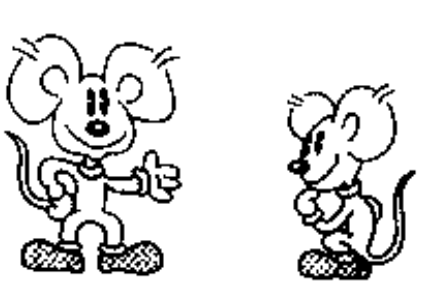
用同步示波器（示波器）观察输出电压的波形，应该几乎为正弦波。

（6）以上的程序仅是作为一个大体的目标显示的，经过多次，各种各样的反复测试，就能自然理解它的性质，随着调整的进展，性能能够提高。这里，C_3 虽然是 12μF 的 MP 电容器，但是变压器的设计、铁芯的材质也有差别，变更其他值试试看是有价值的。

（7）大体在无负载状态下用 1A 程度调整好 60Hz 或者 50Hz 后，在滑线电阻调压器的输出侧上加上 AC100V 的负载试试看。电灯、荧光灯、电视机、微计算机、个人用计算机、电风扇、电钻等这些 100W 程度的负载也可以顺便拿来加上试试看。

加上了负载，电压会有若干降低，用滑线电阻调压器进行调整。电流随负载发生变化。大体流过 10A 程度的电流放置若干时间，观察功率晶体管、整流器、变压器等的温度上升情况。在温度超过容许范围的情况下，需要对这些部分加以改进。

经以上程序就完成了运转调试。设计的效果和性能全看试制者的能力了。



10 温度传感电路的制作方法和调整方法

检测温度，使用于测量或者自动控制. 它是用于微型计算机外部设备的A/D转换电路输入用等实用性很强的电路实例.

希望读者都具有这样的能力，一旦需要这种水平的传感电路时，就能够很简单的自己动手制作出来以供使用.

该电路也是对在《OP放大器IC实验和工作手册》(OHM社)中的电路例进行实用型改良的电路.

电　路

图 1 是电路图。

温度传感器包括：二极管、100Ω 铂电阻体和将铜线等缠绕自制的产品等，采用任何传感器都可以。

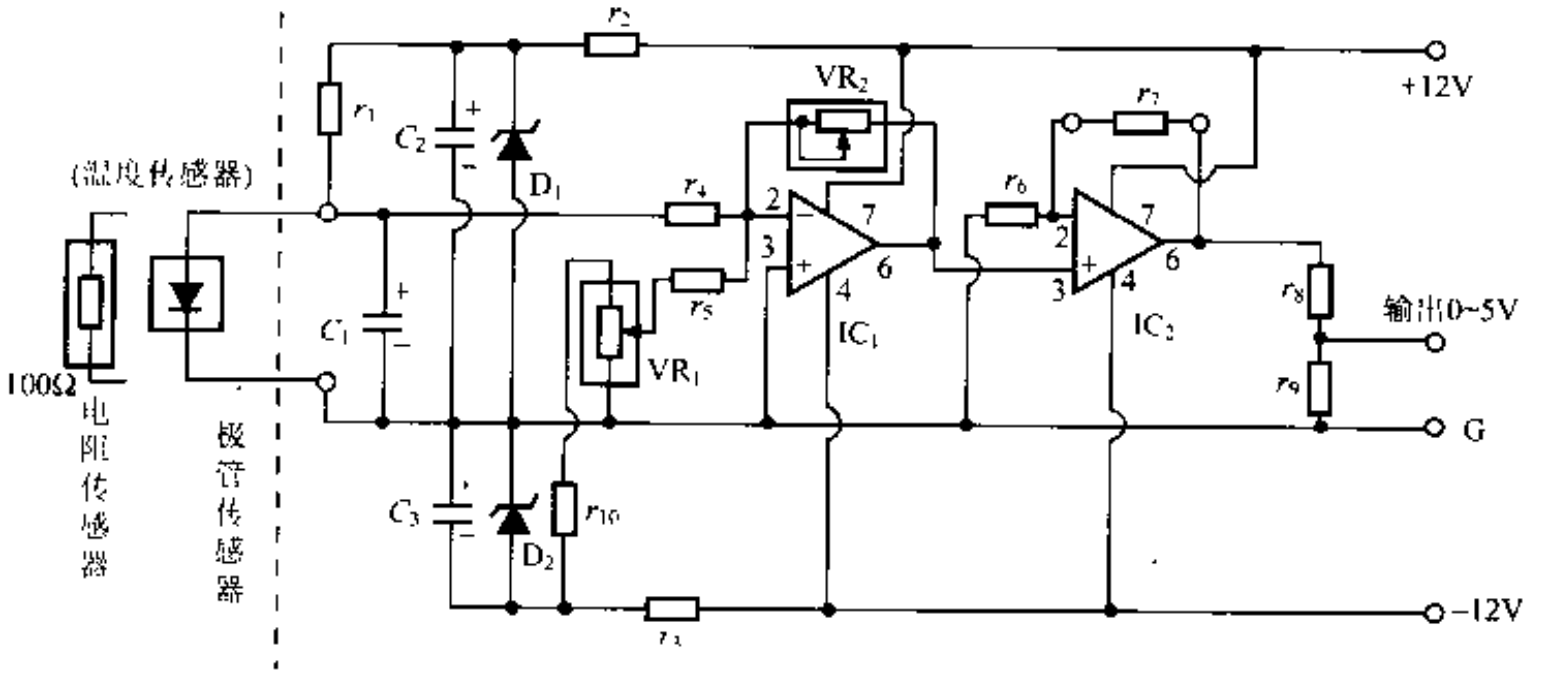


图 1　温度传感电路

如果温度是低于120℃，二极管传感器是最简单最容易制作的。如果有现成的硅二极管什么型号都可以，实验性地用一下，就能立刻了解它的性能。

100Ω的铂电阻传感器作为工业用传感器是放入保护管内的正式的温度传感器，由专门的厂家在出售。了解这种传感器的人一定很多，根据你的试验目的也可以使用这种传感器。

部　件

传感器	(1) 二极管 通用的一般产品 任何厂家都可以
	(2) 铂电阻体 100Ω 多数是放入保护管的标准产品
	(3) 自制
C_1	10μF/16V 防止从传感器输入的感应，必须使用优良产品
	10μF 是大体的标准，也可以在 0.1～100μF 间任意变更试试看
C_2，C_3	20μF/16V 程度
D_1，D_2	5～6V 稳压二极管(RD-6A) 任何厂家的都可以
IC_1，IC_2	OP 放大器 741
r_1	20kΩ 1/4W 优良品，特别要求温度特性好的产品，最好是金属膜电阻
20kΩ	是大体的标准，根据传感器在 5～20kΩ 程度间变更
r_2，r_3	600～800Ω 1/4W
	调整到在 D_1 或者 D_2 上流通约 10mA 的电流即可
r_4，r_5，r_6	10kΩ 1/4W
r_7	大体 10kΩ 1/4W 即可，根据目的(输出电压的最大值)可以在 100Ω～200kΩ 间任意变更
r_8，r_9	r_8，r_9 合计约 10kΩ 程度，在输出电压分压用时也可以用 VR
	根据目的也可以省略 r_8，r_9
r_{10}	10kΩ 1/4W
	调整时，决定 VR_1 的变化范围，根据目的也可以在 5～20kΩ 程度间变化
VR_1	1kΩ 半固定电阻 印制电路板安装用
VR_2	200kΩ 半固定电阻 印制电路板安装用
	VR_1，VR_2 从 100 日元以下 1 个的印制电路板安装用的到 1000 日元左右的螺旋形电位器都有。在该电路中，如果追求高级，最高价的部件就是 VR_1、VR_2。
印制电路板	

在自己制作的情况下，用硅二极管或者卷绕铜线达到100Ω(φ0.1mm左右的漆包线)也可以。

我们不去深入分析传感器自身的工作。注意防水加工、绝缘对策、保护管等方面的问题就可以。

电路虽然简单，考虑到实用性，使用极高性能的部件是成功的诀窍。用便宜的部件，不精细的加工只能得到相应的精度和稳定度，当觉悟到这点时，就不会出现不满的结果。

制作方法

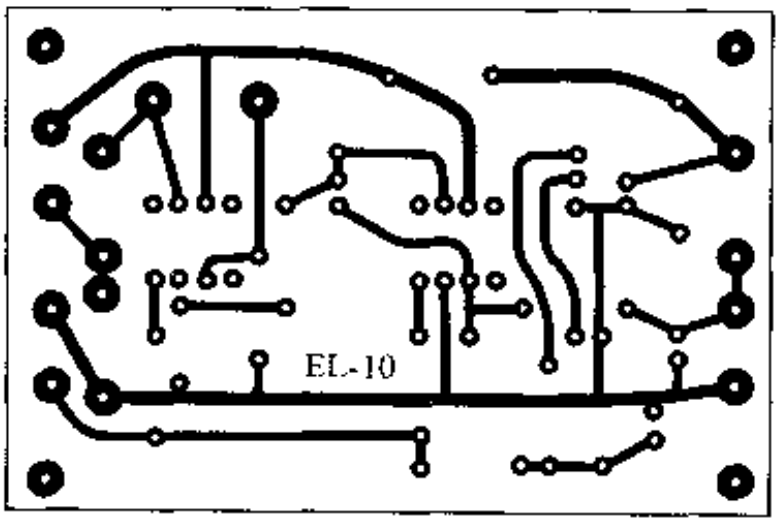


图2 印制电路板图(原尺寸大小)

图2是印制电路板图，图3是实物布线图。为了变更方便，对调整时可能变更的电阻，预先在印制电路板上打好φ2mm的金属孔眼。该图形图中的VR_1、VR_2是多旋转的螺旋电位器。

调 整

这种装置仅仅制作完毕是没有任何价值的，当开始精密地调整时它的价值才渐渐显露出来。这是测量技术的第一步。

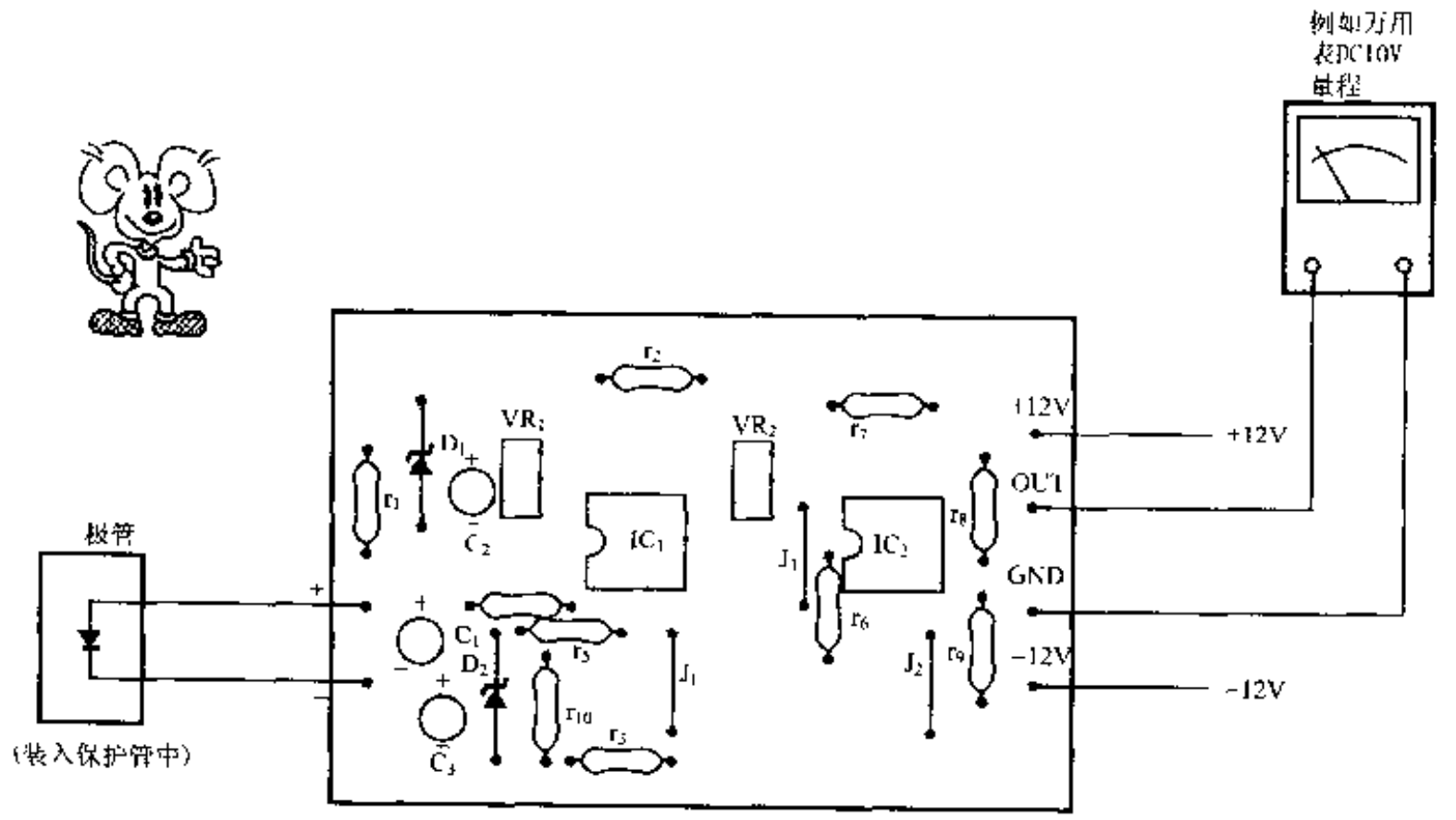


图3 实物布线图

• **准　备**

如图 4 所示，准备放水或者油的容器，一个用加热器加热使它的温度上升到 100℃ 左右，另一个放入冰使它的温度降低到 0℃ 附近。分别将温度计放入容器中准备读取温度。

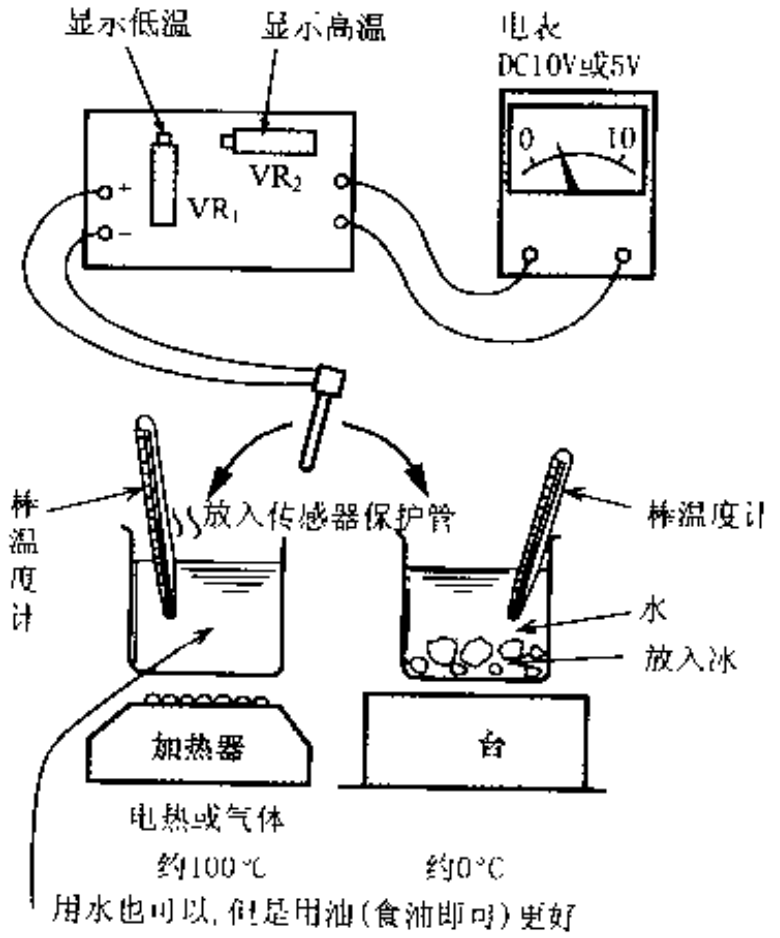


图 4　调整的要点

（1）将传感器放入低温，用 VR_1 将输出电表的指示调整为 0℃ 附近（如果是 2℃ 是 0.2V）。

（2）然后，将传感器放入高温，用 VR_2 调整与温度对应的输出电压，例如，100℃ 是 10V，90℃ 时则应调整成 9V。

（3）再次将传感器放入低温，修正 0V。

（4）再次将传感器放入高温，修正高温指示。

将这一过程反复进行数次，甚至若干次，不要想着用一次、两次就能调整好。进行多次调整可以提高精度。

（5）调整好最高、最低的刻度后，切断高温侧的加热器，使它一边自然冷却，一边读温度和指示值，在方格纸上描出特性曲线。反过来，再一边升温一边测量。在二极管传感器、电阻传感器中，特性曲线理应是近似直线。以后，如有必要，最好从专业技术书籍中深入学习。

• 问题点

当进行精密调整时，有以下问题：

(1) 如果认真地看一下被称为棒温度计的一般市售温度计的精度时，一定会灰心丧气。怎样做才能知道正确的温度的绝对值？这是遇到的首要问题。

(2) 需要了解传感器的延迟时间常数和保护管的关系。

(3) 由 VR_1，VR_2 的稳定性及调整的具体情况了解选择的方法。

(4) 必须了解在电路中使用的部件的温度特性，稳定性等等。如果对这些问题有较高要求，就必须有与之不可分割的高级对策。

总之，根据你的目的制作适当的产品，即使是最初的试制品也行，自己亲身体验是有价值的。

• 电　源

将上述的±4～18V 电源调整到±12V(±15V 也可以)使用即可。便携式的情况下也可以用干电池。

11 测量水溶液电导率(溶液的电阻值)的传感电路的制作及调整方法

测量水溶液的电导率,即溶液的电阻值到底用在什么地方呢?一般情况下是没有什么目的的,但是,在一部分专门的业务中它确实是一个极端重要的测量值.例如,在食品工业、水处理、其他化学工业中有着广泛的应用,进而,今后将会出现更为广阔的应用场所.

作为食品工业的一个例子,在豆腐生产厂中测量豆浆的电导率,在品质管理和工程标准中都要使用该测量方法,其他的产业也有同样的情况.

制作与这种目的对应的电阻值测量仪试试看.

电路及其要点

图 1 是电路图。以下测量条件必须满足:

(1) 溶液一般接地。因此,测量电路应从接地浮空。

(2) 由于产生电解分解将引来烦恼,有必要作成交流桥。

(3) 由于溶液的电导率的差别很大,测量电路必须能与广范围的电阻值对应。

(4) 不要使用对人体有危险的电压。

图 1 的原理是:

(1) 用 IC_1(CMOS IC 1049)多谐振荡器产生数千赫[兹]的矩形波振荡,用 Tr_1,Tr_2 将矩形波放大,施加在绝缘变压器 T_1 上,在次级输出 10V 程度的矩形波交流。

(2) 电极连入到 r_3、电极、VR_1 的交流桥的一边上。

(3) 用 T_2 将桥的输出绝缘,施加到同步整流电路上。

(4) 由 IC_2(CMOS IC 4066)的模拟开关进行同步整流。

(5) 整流过的直流电压在+、-间振动,用 OP 放大器施加偏置电压,结果是如果调整到所希望的测量范围 0～5V 或者 0～10V 等的电压振幅,就调整完毕。

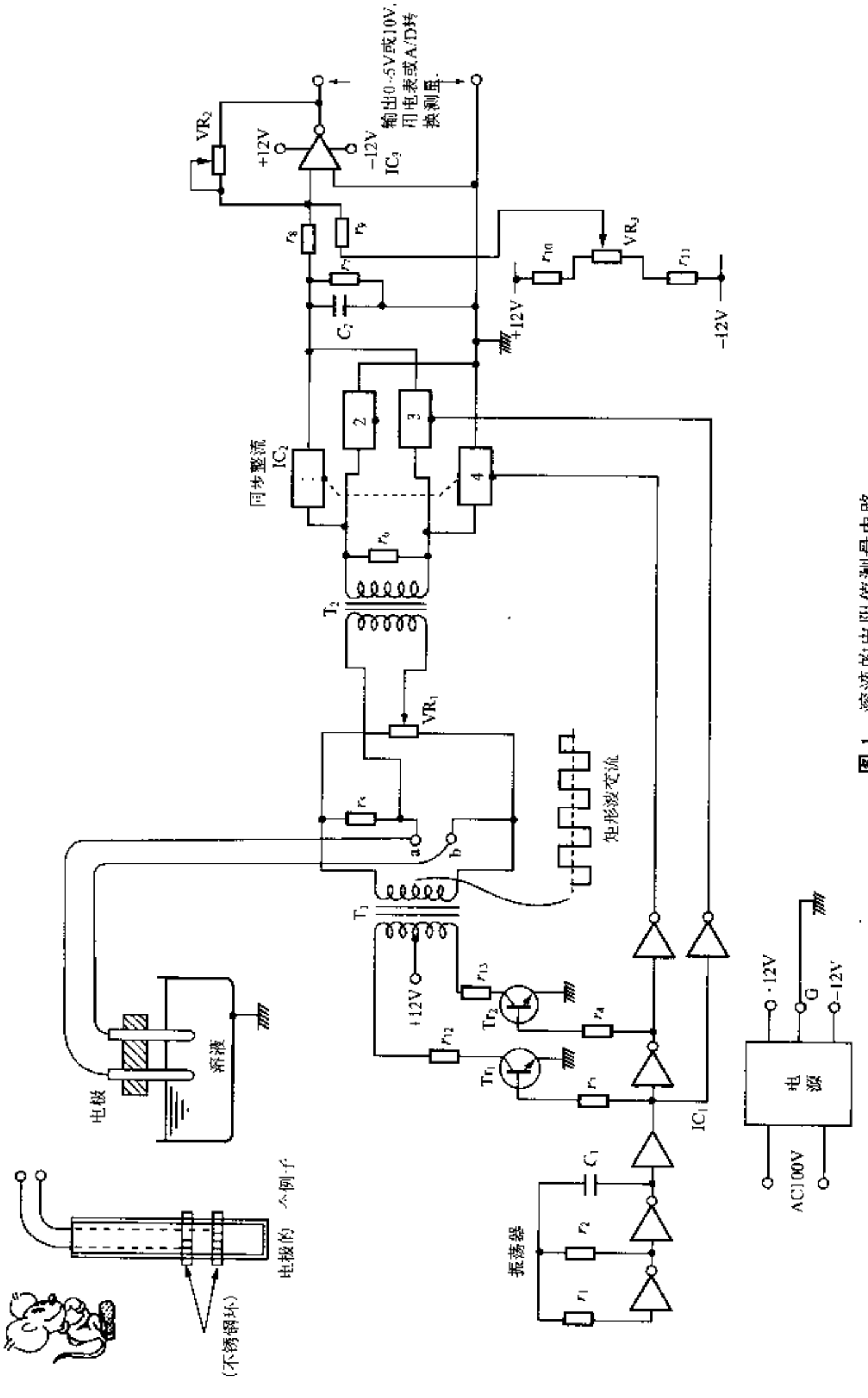


图 1　溶液的电阻值测量电路

如对多谐振荡器、模拟开关等电路、OP 放大器的偏置电压施加方法不了解，请参考以下参考书，认真研究，具备必要的知识：

《数字 IC 实验和工作手册》(OHM 社)

《数字 IC 实验和工作手册》(续)(OHM 社)

《OP 放大器实验和工作手册》(OHM 社)

使用模拟开关的同步整流或者相位整流的电路，是在高级的测量仪器中广

部 件	
IC_1	CMOS IC 4049 缓冲倒相器 任何厂家的产品都可以
IC_2	CMOS IC 4066 模拟开关 任何厂家的产品都可以
IC_3	OP 放大器 IC741 任何厂家的产品都可以
Tr_1、Tr_2	NPN 型 60V 1A 程度的产品 例如：2SC3419
T_1、T_2	晶体管电路用变压器，线圈比为 1：1 或者 1：2；T_1 带有中心抽头 如果是手工制作，在小的铁芯上初级、次级同时缠绕 1000 匝左右就可以
C_1	0.01 μF 决定矩形波的振荡频率根据目的也可以在 0.001～0.1μF 间任意变更
C_2	0.1 μF 同步整流后的脉冲性噪声滤波用 根据制作目的也可以在 10～0.01μF 间任意变更
r_1	1MΩ 1/4W
r_2、r_3、r_4、r_8、r_9	10kΩ 1/4W
r_5	大体可以用 20kΩ 1/4W 实验即可 因为是桥的一边，最好根据目的溶液的电阻值判断决定
r_6	10kΩ～100kΩ 也可以省略
r_7	100kΩ 1/4W
r_{10}、r_{11}	4.7kΩ 1/4W
r_{12}、r_{13}	1.2kΩ 1/4W
VR_1、VR_3 10kΩ VR 10kΩ VR VR_2 200kΩ VR	虽然用售价 100 日元以下的半固定电阻(印制电路板安装用)也可以进行实验，但若考虑到实用，仍需要使用近 1000 日元的多旋转螺旋电位器型半固定电阻
印制电路板	
电源	+－ 12V 200mA 程度电极
电极	必须根据目的制作。最初实验时，也可以用电线试试看

泛使用的电路方式，进行认真的研究是有价值的。

图 2 是印制电路板图。图 3 是在印制电路板上的实物配置图。因图形的需要，有表面连接线。

印制电路板

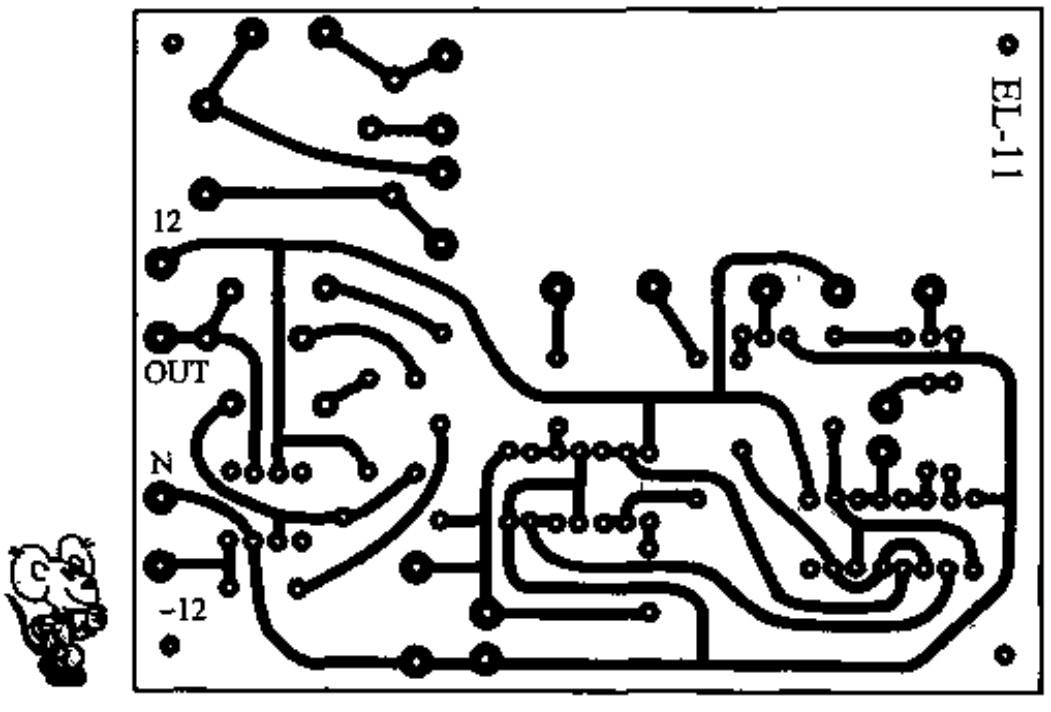


图 2　印制电路板图(铜箔面)

实物布线图

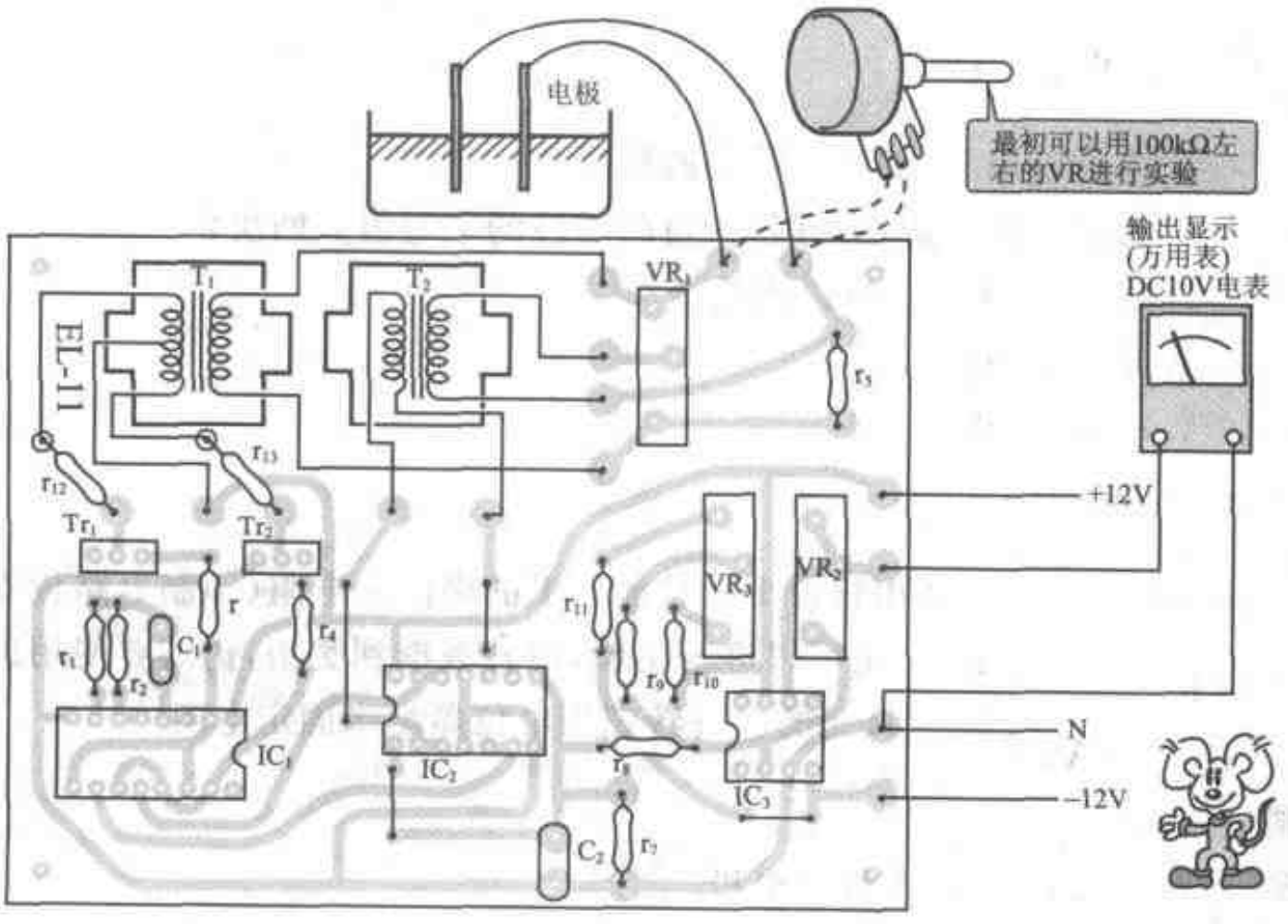


图 3　实物布线图

电路的问题点

虽然该电路中首要的问题是究竟使用怎么样的变压器才好的问题，这个问题的关键是只要有适当的变压器就可以，因此，自身体验过知道这样的电路使用这种程度的变压器就可以，具备这样的知识是最重要的。不要害怕使用从现有的变压器中、甚至从废品中挑选出来或者自己手工制造的产品，也许就能找到合适的。这是需要研究的事情。

电路的调整，最初不是电极，而是安装 VR(可变电阻)，在它上面安装刻度板，以便能够读出大致的电阻值，然后，变化这个值进行调整使输出的电压符合希望的指示值即可。

研究课题

(1) 变压器的选定或者自己制作时的设计、工作方法。

(2) 振荡频率的决定。最初可以大致用数千赫(2～5kHz)的频率试试看。电路的目标是在 T_1 的输出侧，即在电极桥侧输出正确的矩形波的条件下，由变压器的性能决定频率的下、上限。

可以用改变 C_1、用 r_2 置换 10kΩ＋1MΩ VR 使它在 10kΩ～1MΩ 间变化的方法，使频率在广范围内改变。其次，必须判断该频率是否适合测定溶液。

(3) 电极的研究。虽然电极如何制作是自由的，如果该产品是商品，该电极的结构、设计将支配商品的价格。

虽然只要进行实验就能明白，但是，因为这并不仅仅是由溶液决定，它是单纯的电阻测量桥，因此，应该自由的设想它的应用。

(4) 初次使用同步整流电路的各位读者，有必要对该方式进行认真的研究。

(5) 究竟将输出电压设定于什么范围，是简单的使电表振动一下，或是设在＋、－间振动而以零点为中心的电表上，或者是将该输出施加在 A/D 转换电路上送入微计算机中等，根据不同目的决定运算放大器电路的调整。

(6) 刻度精度的确认。在电路大体调整完毕后，最终的，有必要预先正确地测定在电极上的电阻值和输出电压的关系。预先准备好几支电阻值在数十欧至数十千欧之间，知道准确电阻值(例如：1%，0.5%的电阻等)的电阻，将该电阻安装到电极上，在方格纸上作出电阻与输出电压的关系图表，有必要作出指示值是直线变化还是曲线变化的明确的校正表。

（7）由于是测量仪器，因此在完成后，还有必要再一次变化电源电压（AC100V），变化周围温度进行观察，确认长时间运转时有无漂移等各种事项。



12 功率因数或无功功率(无功电流)传感器的制作

在电力的管理技术中,要求检测出功率因数或无功功率,送入微计算机中用于控制的要求越来越多.

这里使用的电路方式是在《继电器电路实验和工作手册》(OHM社)一书中提出的电路基础上改良而成的实用电路.详细的原理请参照上述参考书认真学习,这里仅限于介绍具体制作.

无功电流传感器及其电路

图1是无功电流传感器,如果考虑恒定电压它几乎与无功功率成比例。输

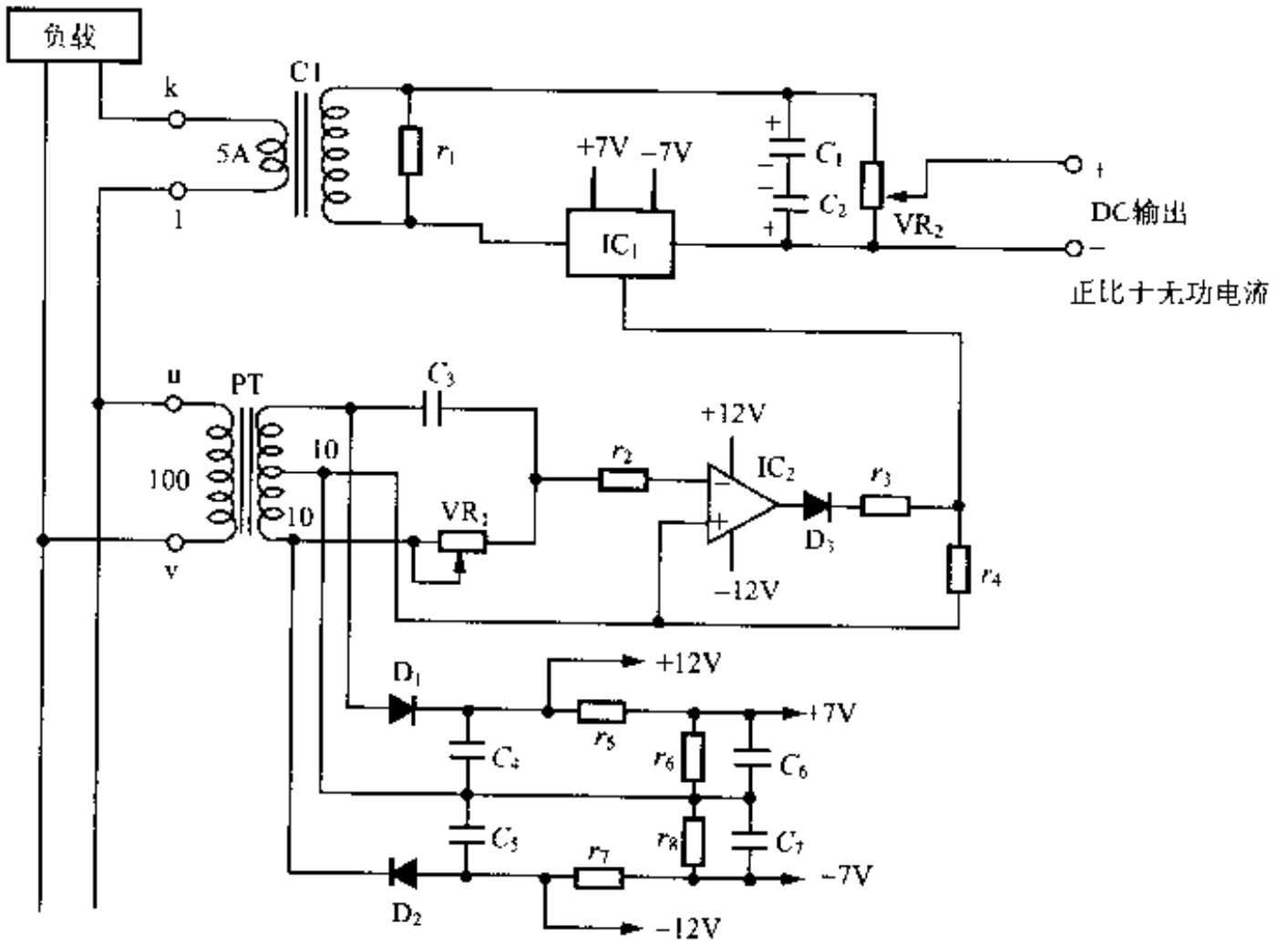


图1 无功电流传感器的电路图

出或快或迟以＋、－极性反转的直流电压输出。最大输出是数伏，约 5V 程度，能够直接加在 A D转换电路上。还有，也可以加在直流电压表，或者用直流＋100μA，±1mA 程度零中心的电表中指示。

功率因数传感器及其电路

图 2 是功率因数传感器，功率因数或快或慢，以＋、－极性反转的直流电压输出。功率因数为 100%时，输出为零。

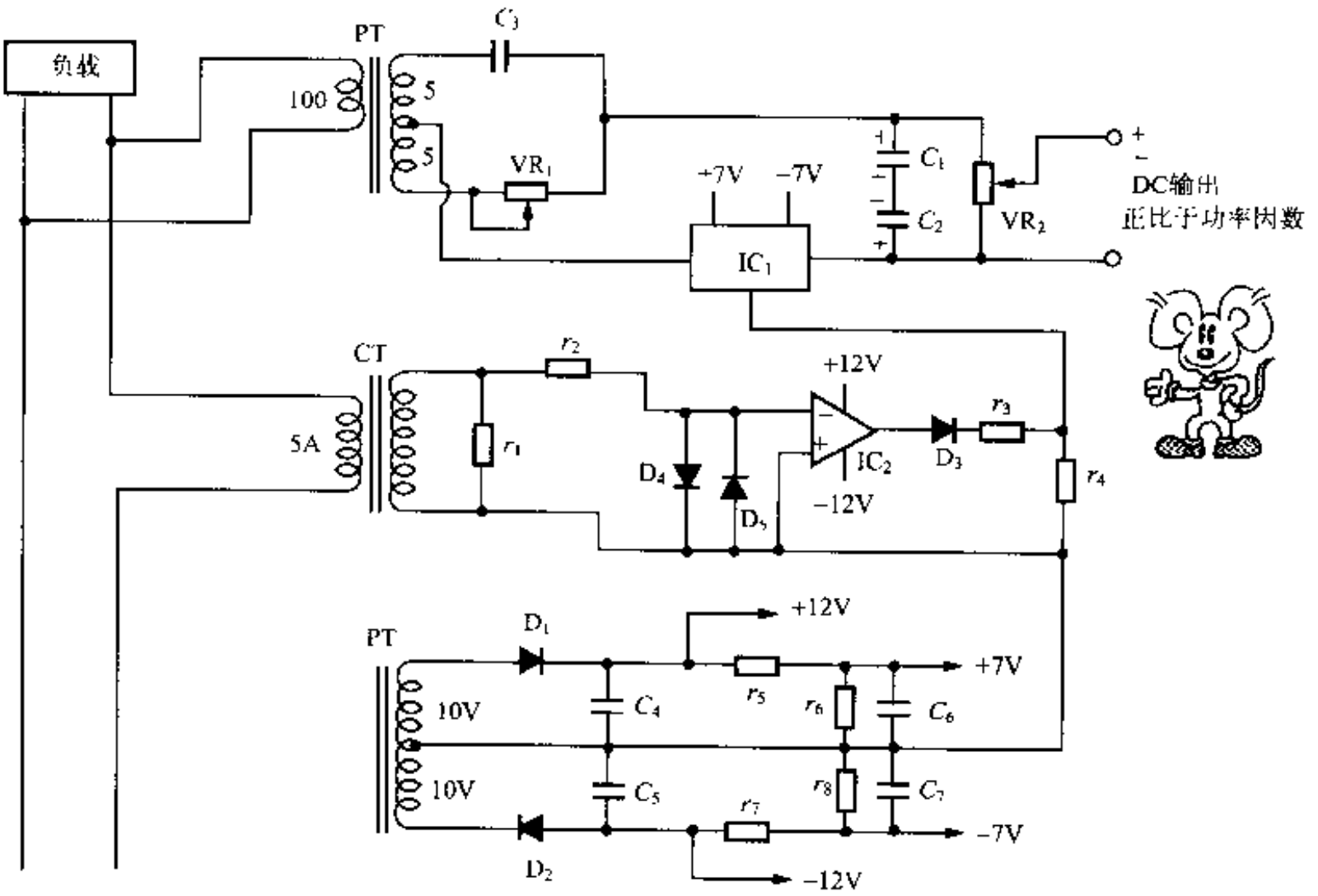


图 2　功率因数传感电路

电路的分析方法

虽然图 1 和图 2 中电路的结构几乎相同，但仔细观察就会发现 CT 和 PT 的位置正好相反。图 3 示出在单相情况下检测无功电流时的相位关系，使用 CT 使与电流成比例的电压以比 PT 的电压位相延迟 90°的电压，经相位整流后输出。

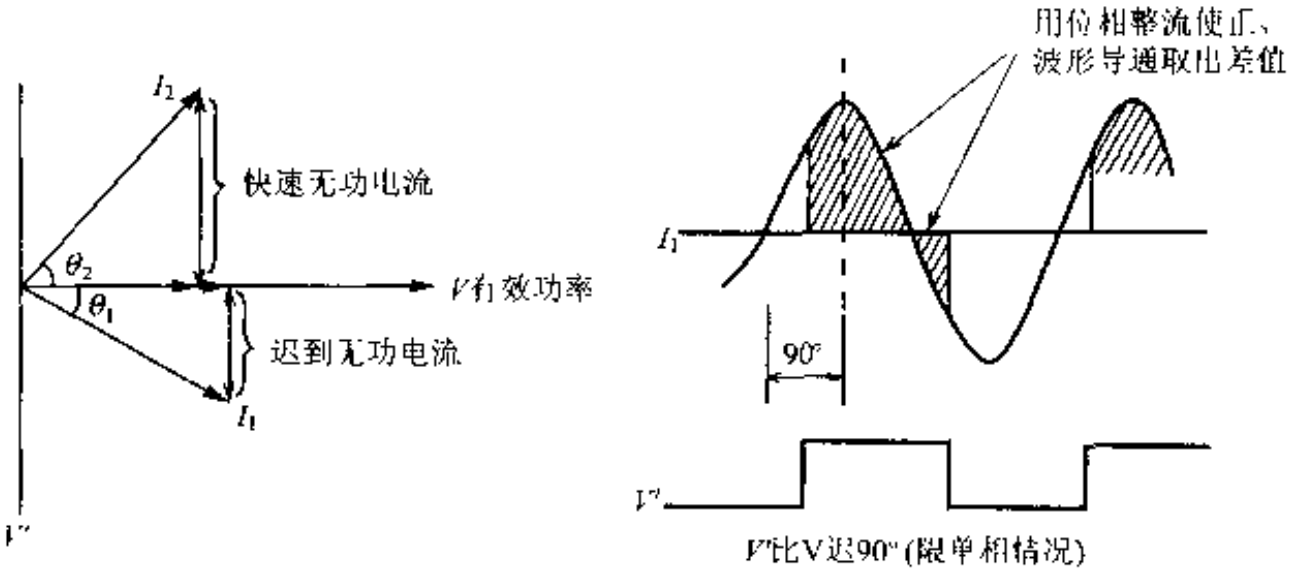


图 3

虽然在《继电器电路实验和工作手册》(OHM 社)一书中提出的电路使用的是晶体管,但这里是用运算放大器和模拟开关进行的实验。当然,与晶体管电路的情况相比,精度有一些提高。

在图 1 中,运算放大器,模拟开关的电源与土隆(Tourlon)电路(C_3、VR_1的电路。称为土隆电路。即相位控制电路)的电源是共用的,在图 2 中,由于土隆电路必须从运算放大电路中省掉,就不能将土隆电路的电压原样不动地使用在电源上。为此,在 PT 上另外设置其他线圈,制作电源。如果在图 1 所示电路中电源也采用图 2 所示的电源,可以确认电源的性能更优越。如果从要进行两方的实验考虑,应该从最初就采用图 2 所示电源的方法。

虽然在图 1 和图 2 中都将 CT 写作 5A,但在单相的情况下不是 5A,必须是 10A 或者 30A。5A 是考虑加入 CT 的 5A 电路的称为辅助 CT 的考虑方法。

虽然在三相电路的情况下,土隆电路的相位调整到 120°或者 60°为好,这里的说明未用。

印制电路板

图 4 是图 1 的无功电流传感器印制电路板图。对于图 2 所示电路可参照该图自己制作。图 9 是图 1 方式的实物图。

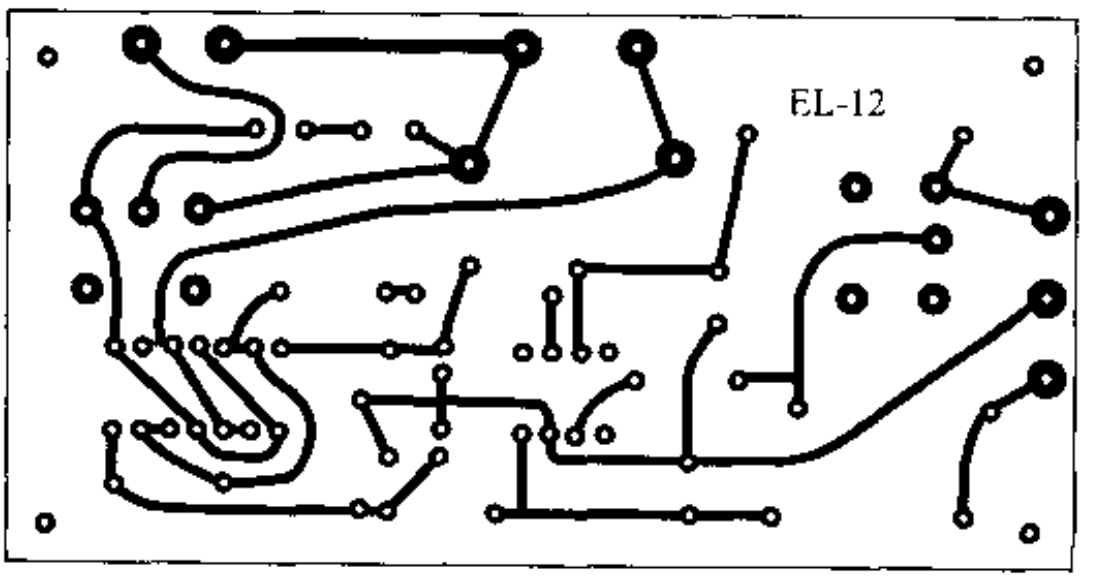


图 4　无功电流传感器印制电路板图

部 件

(图1,图2共用)

PT	初级 100V 次级 10V×2 100mA 程度(图1) 初级 100V 次级 5V×2 10V×2 各 100mA 程度(图2) CT(辅助 CT) 初级 5A(绕4匝)次级绕 1000～3000 匝 ϕ 0.1～0.2 mm 制作方法参照正文
IC_1	模拟开关 C MOS 4066
IC_2	运算放大器 IC 741
r_1	1/2W 参照本文
r_2, r_3, r_4	10kΩ 1/4W
r_5, r_7	1kΩ 1/4W
r_6, r_8	1kΩ～1.5kΩ 1/4W
	将约 12V 的电压分压,使得能得到约 7V 那样,由此决定 r_6 和 r_8
VR_1	10kΩ VR。不要用 100 日元以下的半固定 VR,要用稍大型的产品
VR_2	10kΩ VR。也可以用 100 日元以下的印刷电路板用半固定 VR
C_1, C_2	220μF/16V
C_3	0.5μF/50V。可以用 MP 或者薄膜电容,不能用电解电容
C_4, C_5	220μF/16V 电源用
D_1, D_2	硅整流器 1A/100V 任何厂家的产品都可以
D_3	硅二极管 任何厂家的产品都可以
D_4, D_5	硅二极管 任何厂家的产品都可以(仅限图2)



CT的制作方法

图5示出了CT的制作方法。CT的设计。图5中,I 为初级电流,设为5A;n_1 为初级的匝数,设为4匝;n_2 为次级的匝数,设为3000匝;i 为次级电流;r 为使次级电压输出的电阻;V 为次级电压,大体设为4V。

在CT中,$n_1 \times I = n_2 \times i$ 的关系式成立。CT的次级侧浮置(开放)是危险的,必须附加电阻负载。在次级浮置的情况下,一旦在初级上流通电流就会产生高压,引起绝缘破坏,还有触电的危险。

电阻 r 的值由输出电压是几伏决定。

在上述条件下,

$$n_1 \times I = n_2 \times i, \quad 4 \times 5 = 3000 \times i$$

$$r = V/i, \quad i = 20/3000 = 6.66(\text{mA}), \quad r = 4(\text{V})/6.66(\text{mA}) = 600(\Omega)$$

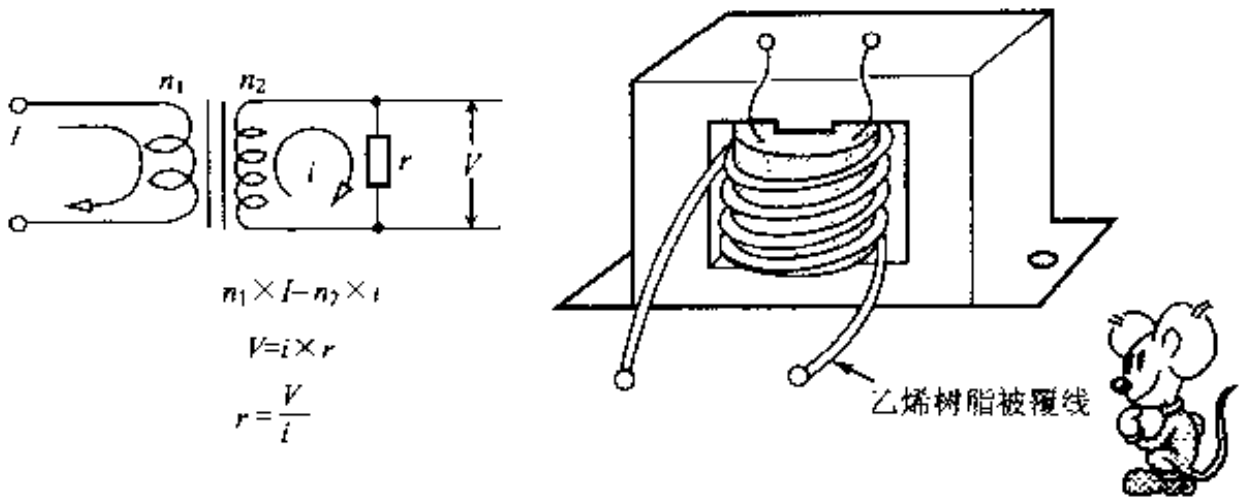


图 5　CT 的制作方法

如果 r 连接 600Ω，当初级流通 5A 电流时，在 r 上就能输出 4V 的电压。

CT 的负载为：4V×6.6mA≈0.03V·A，可以忽略。

该例中的次级线圈 3000 匝稍微多了些，1000 匝程度足够。

最简单的制作方法是将小型的电源变压器的铁芯分解，取出次级线圈，再将铁芯组装，然后在间隙上各通一匝聚氯乙烯线卷线上就能简单的制成。虽不知道间隙的状况究竟能够卷 4 匝还是 5 匝，可能的话，我们的目标是卷 5 匝～10 匝。

使用变压器的初级线圈(AC100V)的情况下，虽然不能明确的知道匝数，但是应该改变它的电阻值，使得后面流通电流时能够得到所希望的电压。

PT 与普通的变压器同样即可，使用适当的现有的产品就可以。

图 6 示出使用模拟开关的条件。

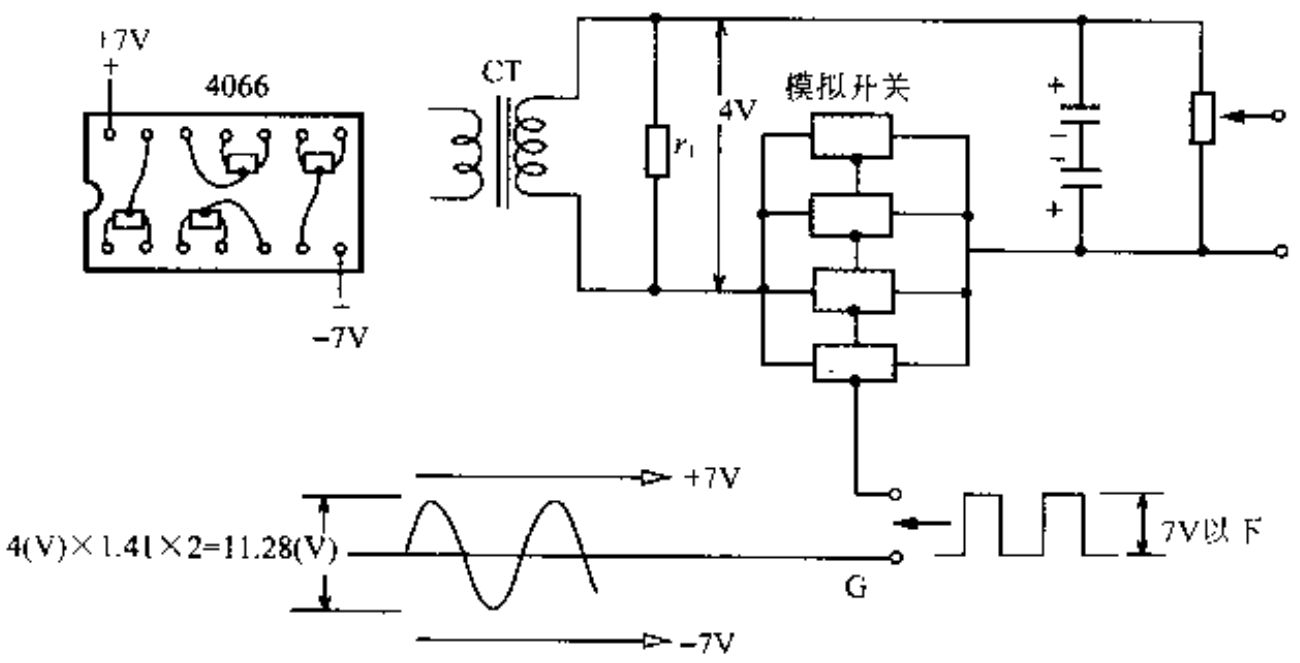


图 6　模拟开关的条件

由于模拟开关施加交流电压(+、-振动的电压)，电源为+7V。在这种情况下，所通电压的最大值不能超过7V。

设CT的输出电压为4V，则

$$4\times1.41\approx5.6(\mathrm{V})$$

当电源为7V时，对该值是具有很大余量的。

控制电压虽然是加在运算放大器上的输出电压，该电压的峰值也不能超过电源电压的7V。

由于运算放大器的电路使用在比较电路中，输出电压的峰值是从电源电压减去约1V的值，在现在的情况下，由于电源是12V，它就是约11V，将它用r_3，r_4分压1/2，取出约5.5V，用作控制电压。

模拟开关的输出侧的C_1、C_2是滤波电容器，这里由于相位在+、-间振动，该滤波电容必须是无极性的，可将2个电容器方向相反地串联连接使用。

图7示出将该输出加到A/D转换电路上的情况下，衬垫电压的施加方法。例如A/D转换器的输入条件如果是0～5V，将+、-振动的电压A/D转换时，将它的零点抬高到上述电压中心的2.5V电压作为零点，将这时的偏置电压作为A/D转换侧的电源，在该图中是5V，应使用这个电压制作电路。就是说，施加的+、-振动的电压如果不预先设定在最大+2.5V以内，A/D转换器的输入就过载了。



■试运转、实验、刻度校正等都是电气技术的本职的工作，请各位自己作好这些工作。

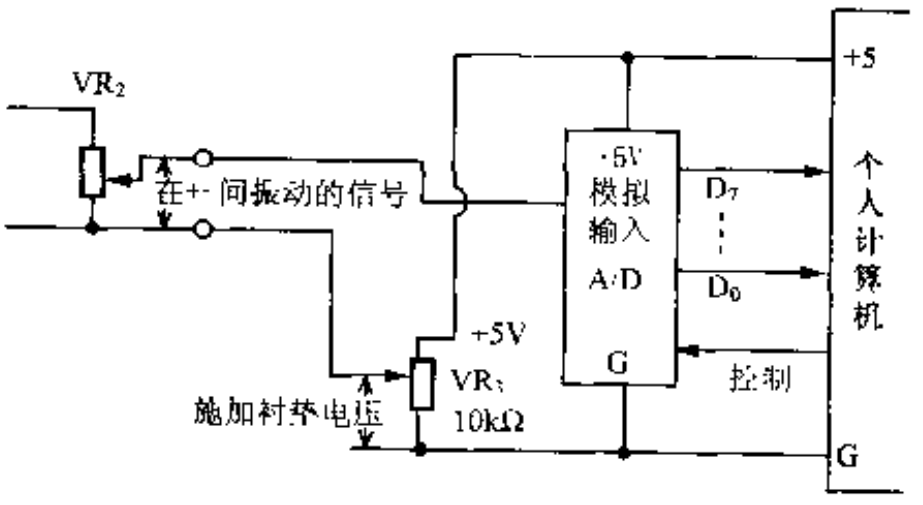


图7　与A/D转换组合的情况

实物布线图

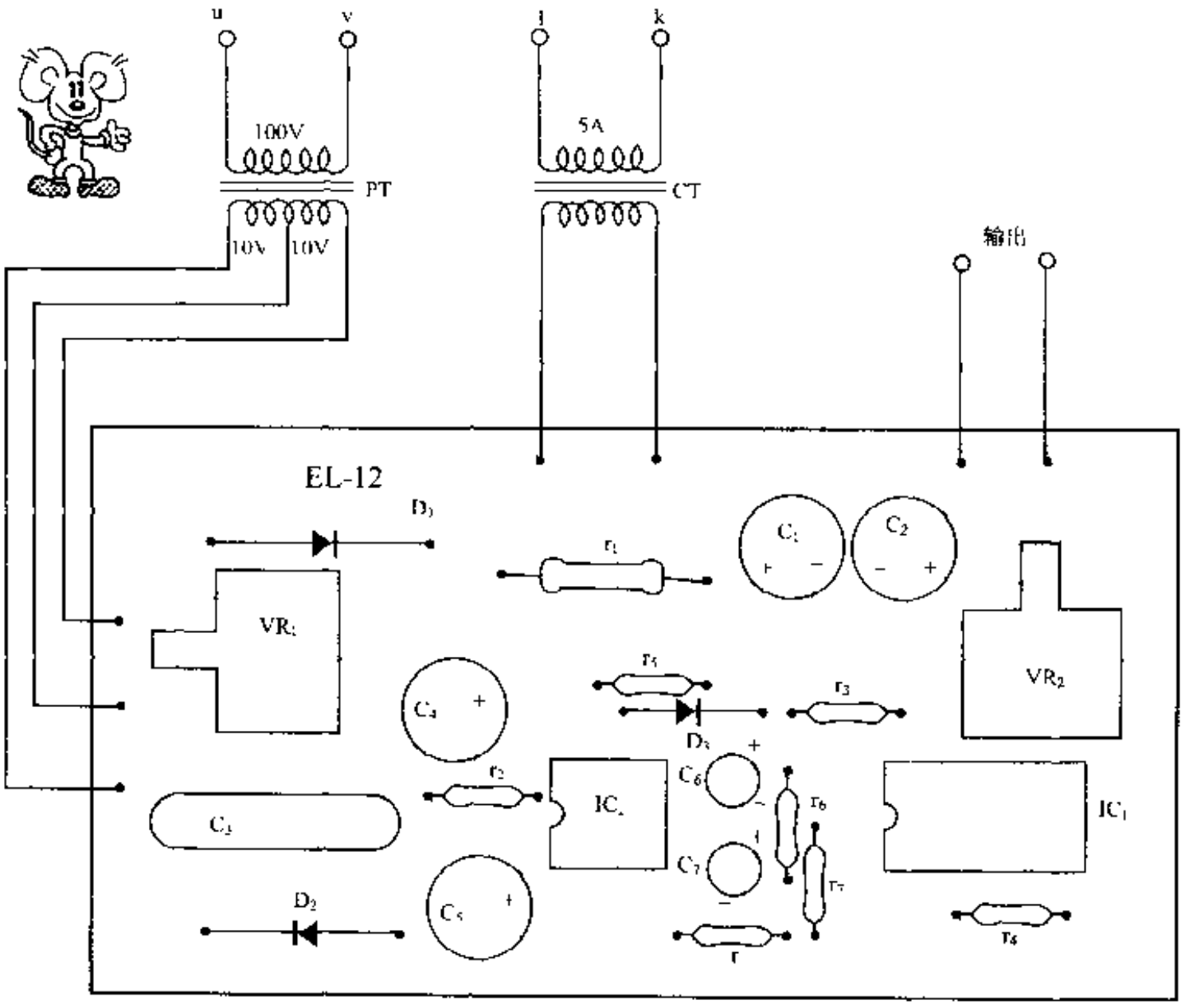


图 8　实物布线图

参考意见

在实用的情况下，存在着是选择图 1 的无功电流(无功功率)电路还是选择图 2 的功率因数传感电路的问题。

(1) 从初学者的观点看，用功率因数传感电路处理容易理解也省时间。

(2) 对电气技术的专门家来说，不用无功功率处理毫无意义。这一点读者应该很清楚。

13 播放顺序发生器的制作方法

所谓播放顺序发生器是一个好听的名称，重要的是它是试图存储顺序的RAM(存储器)装置．没有CPU，因此没有程序的软件，也许可以说是硬件主体的微型计算机之类的装置．

总之，对微计算机感兴趣的读者，如果特别认真地投入的话，保证微计算机将成为你最好的帮手．

什么是播放顺序发生器

我们到底要做一个什么装置呢？试分析图 1 所示的配电盘配置图。

(1) 带有 8 个输出继电器。

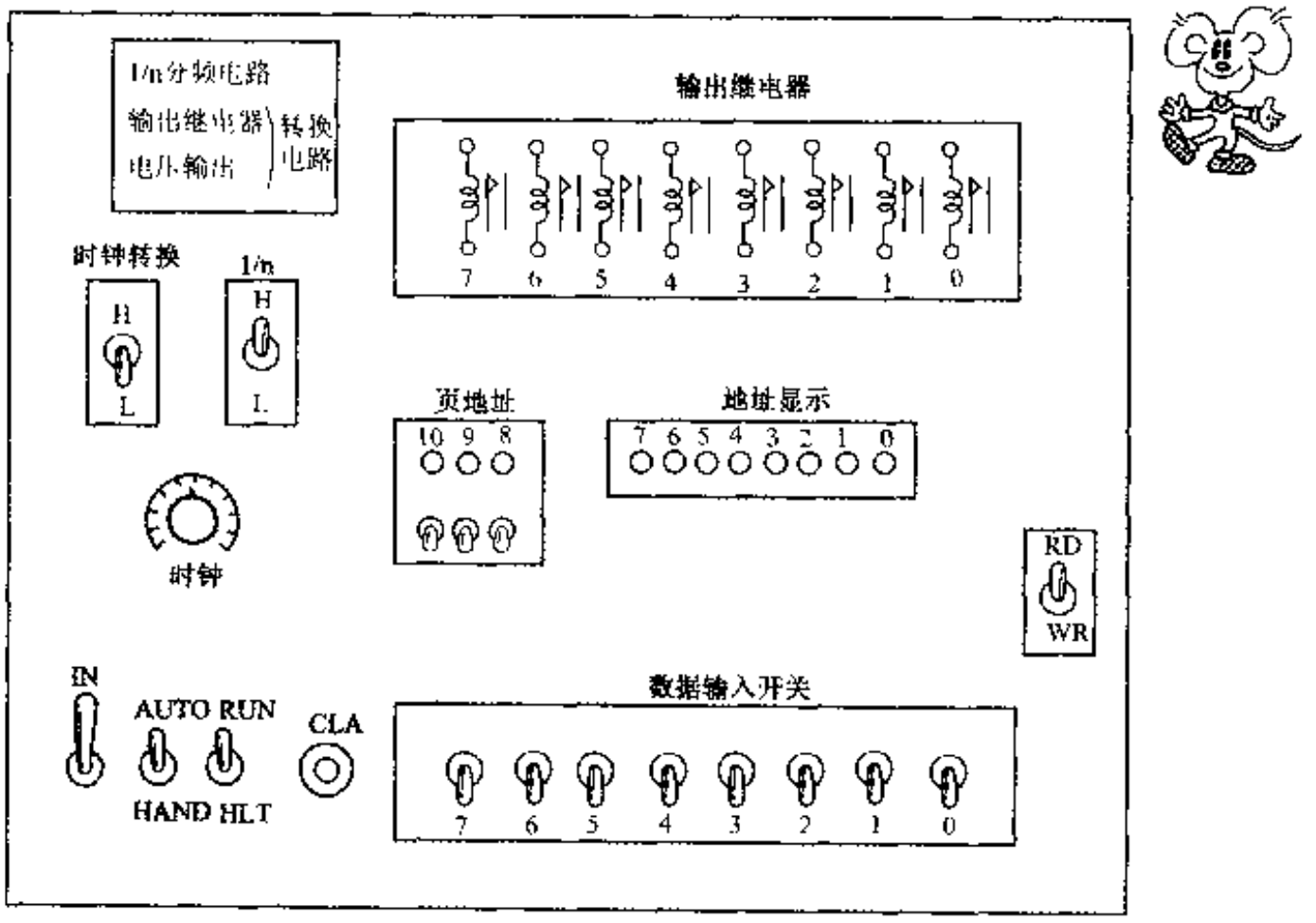


图 1　配电盘配置图

(2) 带有 8 个输入开关。

(3) 带有 8 位地址指示灯

(4) 带有 3 位的页面地址指示及开关。

(5) 带有 RD/WR、读、写开关。RD(读)　　存储器读出，WR(写)——存储器写入。

(6) 带有 CLA(复位)按钮。复位是将地址回归到 0 地址(开始)。

(7) 带有 RUN/HLT 运行、停机开关。RUN(运行)---　地址跟随时钟走，HLT(停机)---　地址停止。

(8) 带有 AUTO/HAND 自动、手动开关。AUTO(自动)---　地址随振荡器的输出自动的前进，HAND(手动)——地址用 IN 开关前进。

(9) 带有 IN 开关。IN 开关是反跳式开关，也可以是按钮开关。手一放开，就返回到原位的开关，按一次 IN，地址前进 1 位。

(10) 带有使时钟(地址前进的频率)变化的电位器和旋钮。旋转它们频率(时钟)就变化。

(11) 带有 H/L 时钟转换开关。由 H/L 的转换能够大幅度地改变时钟。

(12) 虽然带有 1/n 的 H/L 转换、输出继电器、电压转换电路，但由于最初并不用，这里的图中看不见。

此外，还有开关、指示灯等。

下面，介绍播放顺序发生器的使用方法。

顺序发生器按它的输入方式分为分步输入方式和自动分步方式。

分步输入方式

所谓分步输入，就是对每一个地址规定数据，用手动使地址前进的方式。

(1) 准备 RD/WR ——→下 WR
　　RUN/HLT ——→上 RUN
　　AUTO/HAND →下 HAND
　　页面开关 8,9,10 ——→下
　　地址显示 8,9,10 熄灭

实际上在继电器的输出上连接接点，应该连接马达、灯、加热器等目的装置，重要的是要一边联想这些事情一边动手处理。

(2) 按下 CLA－→地址显示全部熄灭。

由以上步骤准备完毕后开始写入。

(3)将输入开关 0～7 中的一个，或者全部任意地置于 ON(上)。对应的继电器置于 ON。如果在继电器的接点上连接了某个装置，例如连接了马达，马达就旋转。这一步顺利完成时，按下 IN 开关。地址显示为 0 的灯泡点灯。地址从 0 号前进到 1 号地址。

(4) 也可以变更输入开关0~7,如果想继续维持此前的状态,也可以保持原来的状态。如果顺利,按下IN开关。地址灯0熄灭,1点亮。地址前进到2号地址。

(5) 这样,决定数据(继电器ON,连接的装置运转),如果进展顺利按下IN使之存储,将这一动作反复进行,直到地址显示灯0~7全部点亮,将结果写入256步。

(6) 例如,当在240步完成预定的一连串动作时,将0~7开关全部OFF,将IN开关前进到256步为止(直到地址灯0~7全部点亮为止)。

(7) 将RD/WR开关置于"上",置于RD。

(8) 按下CLA,地址成为0号。0~7号灯全部熄灭。

(9) 用手按IN开关时,地址就每次前进1号,继电器如已存储的那样动作。按256回时,返回到原处,从最初开始再一次重复同样的事情。

(10) 在地址的中途,希望返回到开始状态时,按下CLA(复位)即可。

(11) 将AUTO/HAND开关置于"上",设为AUTO(自动)试试看。地址自动前进,同样的事情自动反复。它的速度由变更时钟的H/L切换开关,时钟的VR(电位器)决定适当的速度即可。

(12) 在中途希望停止时,将RUN/HLT开关置"下",置于HLT,就在那里停止。一旦置于RUN,又从那里开始走出。

(13) 页面地址用开关8,9,10,选择8页。结果是,能够存储8组现在写入的256步的动作。

(14) 即使电源切断停止,由于RAM用电池支持着(保持着),现在写入的数据也能长时间保持不丢失。电池的消耗是微安(μA)级。

自动步进方式

所谓自动步进方式,就是在地址自动地前进中,按照规定的时间间隔操作数据输入开关,因此,输出继电器也对应地动作,连接的装置也动作,自动地将这种运转形式存储下来。

这是一种人们操作手柄(数据输入开关),运转连接在继电器上的装置,将这一过程存储起来,然后,根据该存储,将同样的事情自动地多次重复的方法。

为了用256步设计1页的存储能力,必须设定时钟频率,使得一连串的动作能够在256步完结。

若能清楚上述过程,就能够根据制作目的变更设计。例如,规定一连串的动作是2000步(从而,停止页面地址的思考方法)将2000步分为10分钟时,每分钟200步,它的分辨率为每秒钟3.3步,也能够存储规定相当细的动作。

这里我们仅做256步的试试看。例如，必须考虑将时钟设定为1秒时，用256秒(约4分钟多一点)完成一连串的动作，设定为0.5秒时则用约2分钟就能完成一连串的动作。

(1) 准　备

RD/WR ——→WR(下)

RUN/HLT ——→HLT(下)

AUTO/HAND——→AUTO(上)

(2) 按下CLA，地址变为0号地址。

(3) 事前，将时钟频率调整到目的值。(以上步骤为准备工作，下面进入存储动作。)

(4) 置RUN/HLT→RUN(上)。地址走动。调整数据输入开关到目的值，进行ON，OFF操作。

(5) 当地址接近256步时，将数据输入开关全部OFF，置AUTO/HAND→HAND(下)。

用于按下IN开关，使地址前进到256步。地址成为256步时，置RD/WR→RD(上)。

(6) 由以上过程完成存储后，置AUTO/HAND→AUTO(上)。按照存储再现。这时，变更时钟试试看。

由实验可知，存储时和再现时的时钟也可以有差别。

可以慢速存储，快速再现。或者相反，快速存储，慢速再现，根据实验目的能够自由地选择。

其他使用方法

虽然上述说明都是将继电器连接在输出上，也可以用电阻代替继电器，在输出上换上电阻将电压输出(TTL电平，0.5V的数字信号)取出。

(1) 将输出加到D/A转换器(数字→模拟转换)上，写入正弦波或者特殊波形的数据使它运转起来，就能够成为波形发生器的信号源。能够通过变更时钟大幅度地变更频率或者周期。

(2) 由于输出是8位数据，从它们中间抽出必要位数，可以作为：

三相交流的波形振荡的信号源、四相或五相的脉冲马达的驱动信号源、正弦或余弦的二相振荡的信号源等，只要你肯下工夫，能够想出各种各样的使用方法。

电路图

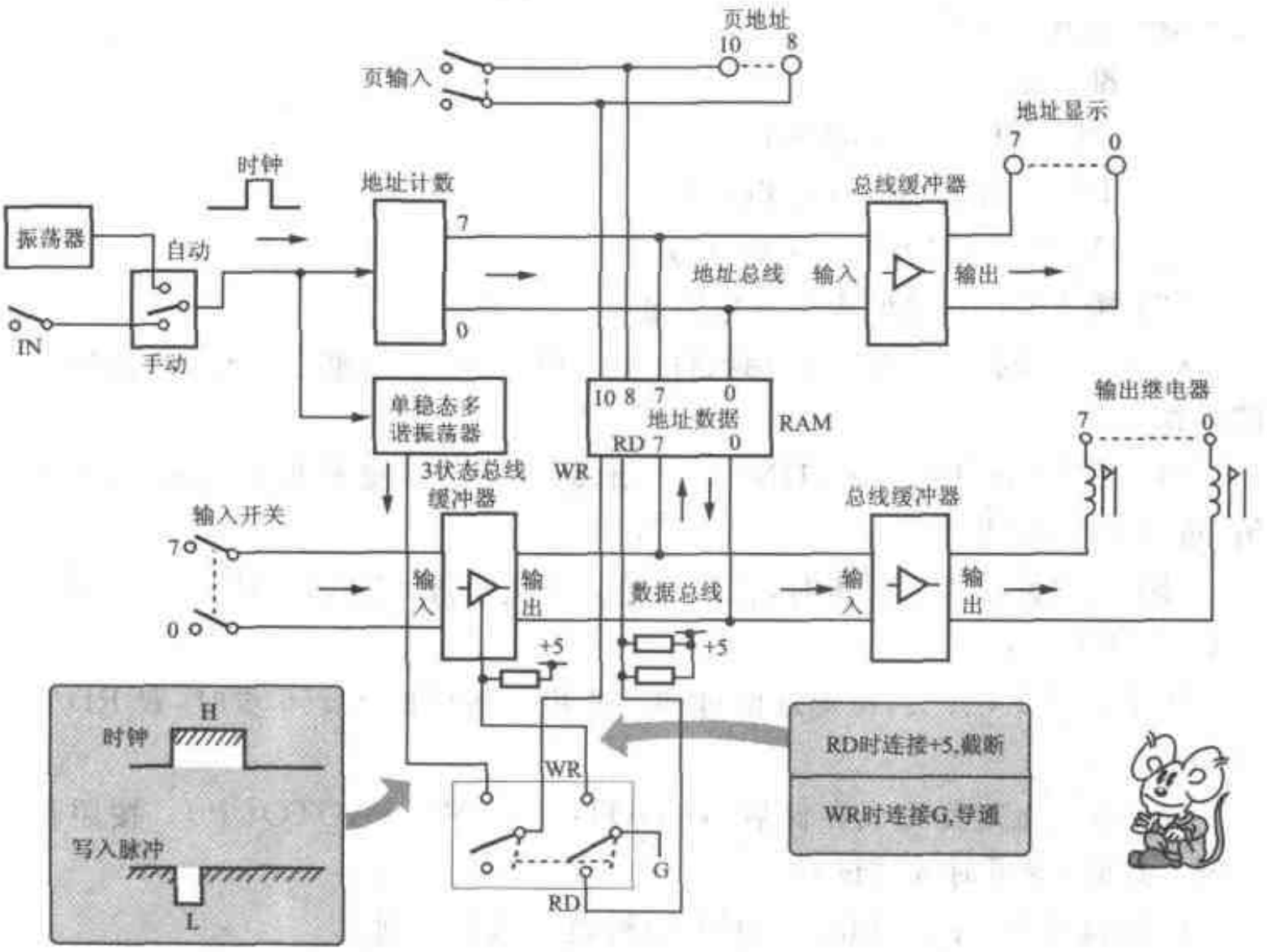


图 2　电路的原理图

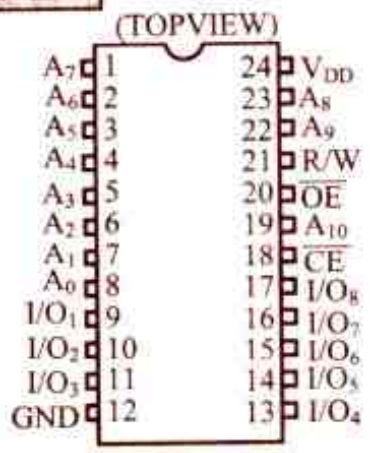
电路图的原理

图 2 是电路原理图。对具有微计算机知识的人来说，这是极简单的电路，但是对于没有微计算机知识的人来说，就有点难于理解。图 3 示出的是 RAM 的结构图。需要详细了解的读者请查阅厂家的资料。这种资料可以随处得到。图 4 是 RAM 的外部连线图。

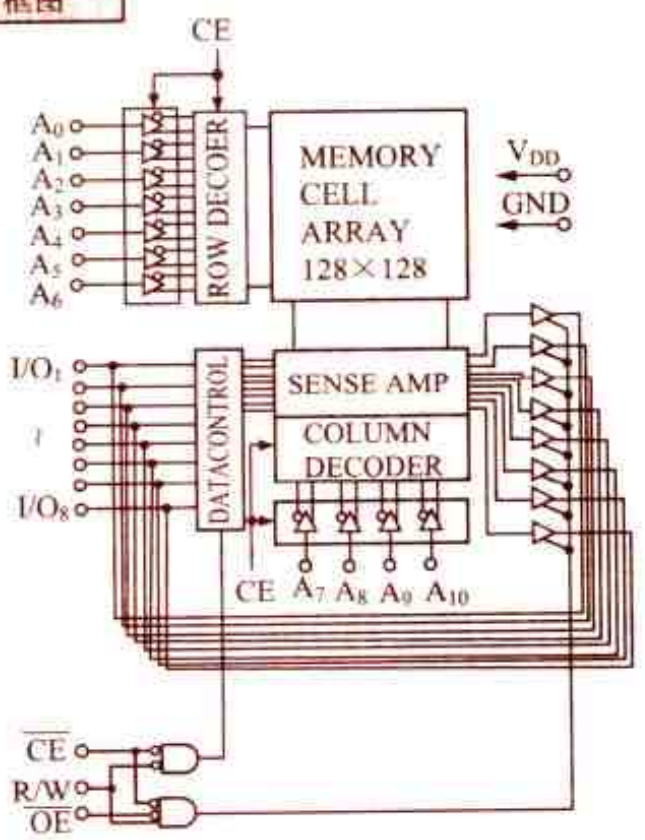
为了在切断电源＋5V 跌落的情况下数据也不丢失，RAM 用 3V 的干电池支持。如图所示，管脚 24 是＋电源端子，通过二极管施加＋5V 电压。使用二极管的目的是使电池不向其他的电路流出电流。电池的电压也通过二极管施加。在该电路中，由于是通过二极管施加＋5V 的电压，管脚 24 的输入虽然降低约 0.5V，成为 4.5V 程度，但是在该电压下能够充分动作。

TC5517AP C MOS RAM

管脚连接



方框图



管脚名称

A_0~A_{10}	地址输入
R/W	读写输入
$\overline{OE}$	输出启动输入
$\overline{CE}$	芯片启动输入
I/C_1~I/O_8	数据输入输出
V_{DD}/GND	电源端子

图 3 RAM 的结构图

2048×8比特 CMOS RAM TC5517AP

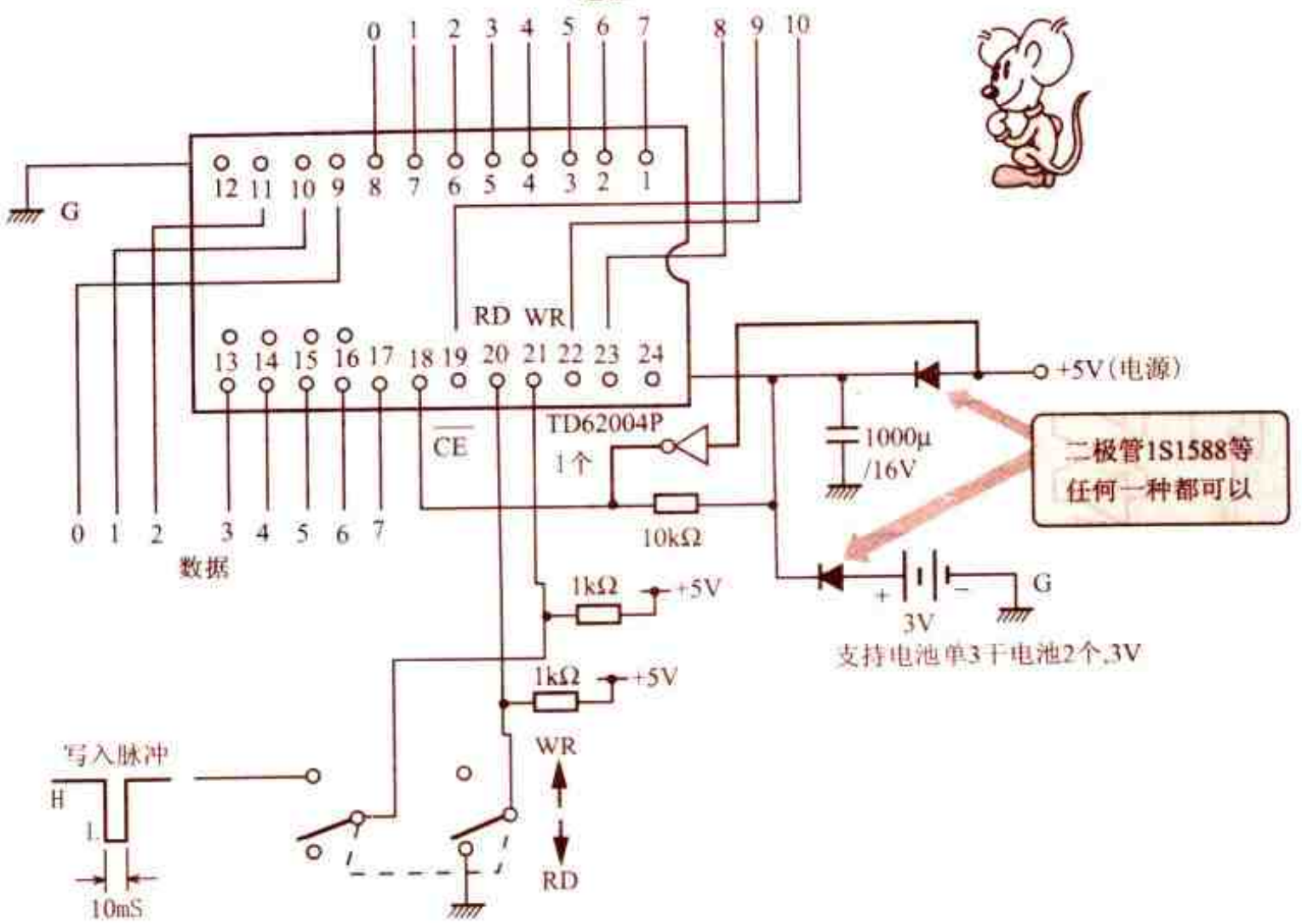


图 4 RAM 外部电路

如图4所示，虽然用10kΩ电阻将管脚18 $\overline{CE}$与管脚24的＋电源连接形成负载电路，这是该电路的长处，一旦将$\overline{CE}$保持在＋，地址端和数据端就同时开路以防止电池消耗。有它和没有它在支持时的保持电流有很大不同。

但是，在$\overline{CE}$动作时必须降到L(低电平GND)，如图所示，使用集电极开路的TD62004P，在有＋5V时施加＋5V，将其反转把L电平施加到$\overline{CE}$上。＋5V消失的时候，TD62004P的输入＋5V也消失，输出侧变为开路，情况变好。

在资料中将管脚20作为$\overline{OE}$，该端子用于读出。当下降到L电平时成为读出模式，如果是H电平(＋5V)时，数据端子开路。用开关RD时降落到L电平，用WR时1kΩ的电阻是＋5V的负载电阻。在资料中将管脚21作为R/W，该端子在写入时使用。在RD时1kΩ的电阻是＋5V的负载电阻。WR时，施加用时钟脉冲形成的约10ms程度降到L电平的脉冲。

图5是制作时钟振荡和写入脉冲的单稳态多谐振荡器电路。(对这些电路不能充分理解的读者，请参阅《数字IC实验和工作手册》(OHM社))。

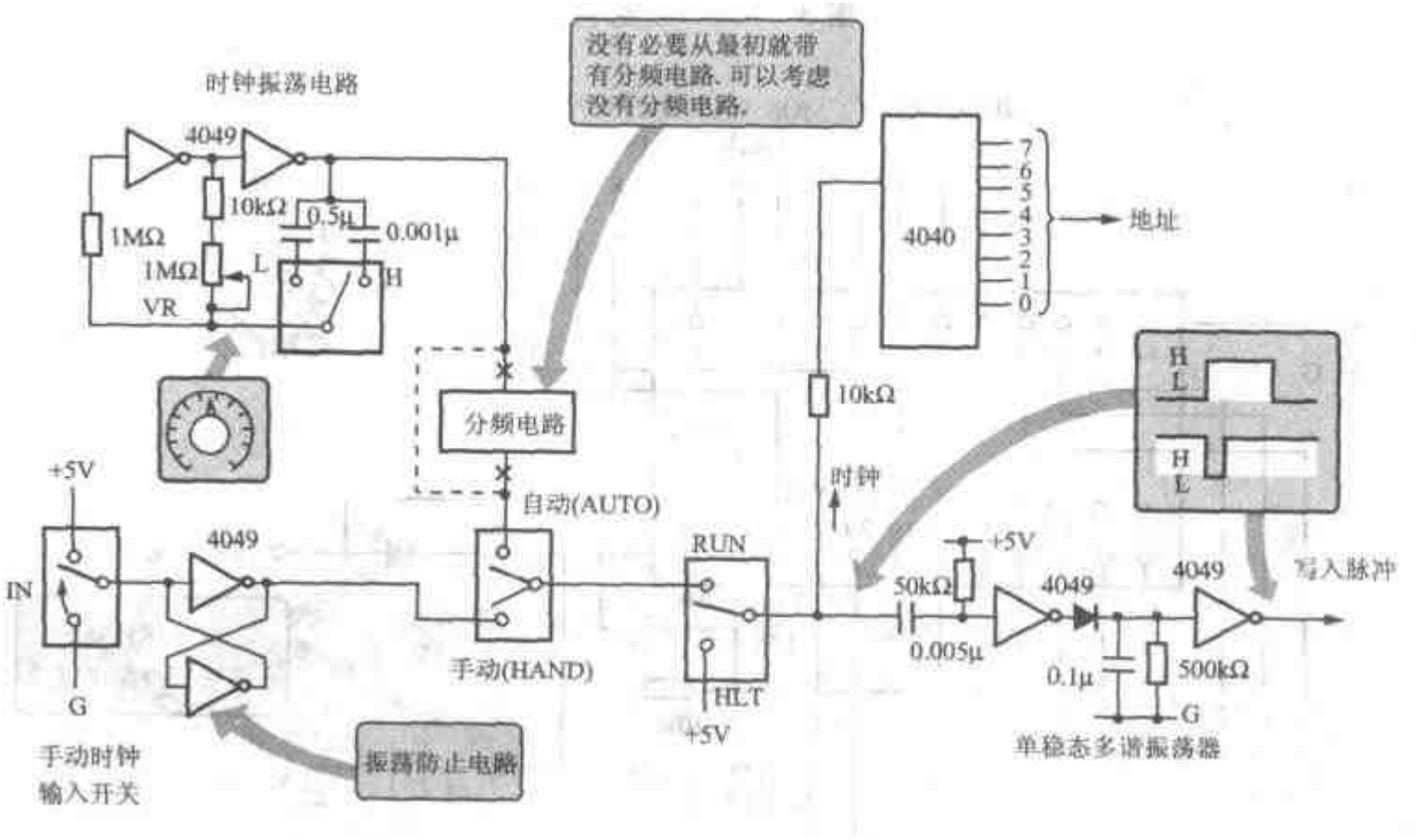


图5　单稳态多谐振荡器电路

仍参照图4，剩下的RAM的端子是地址0～10共11个，数据0～7共8个。

虽然数据0～7的8个是原样使用的，而地址0～7共8个和8～10共3个

是分别使用的。在地址 0～7 上施加地址计数器 4040 的输出，而 8～10 的 3 个是用开关施加。

图 6 是存储地图(memory map)。以 256 步作为 1 页(微计算机这样处理)，有 0～7 共 8 页，由 8，9，10 的地址开关进行页的选择。1 页的 256 步由 4040 的二进制计数器做。

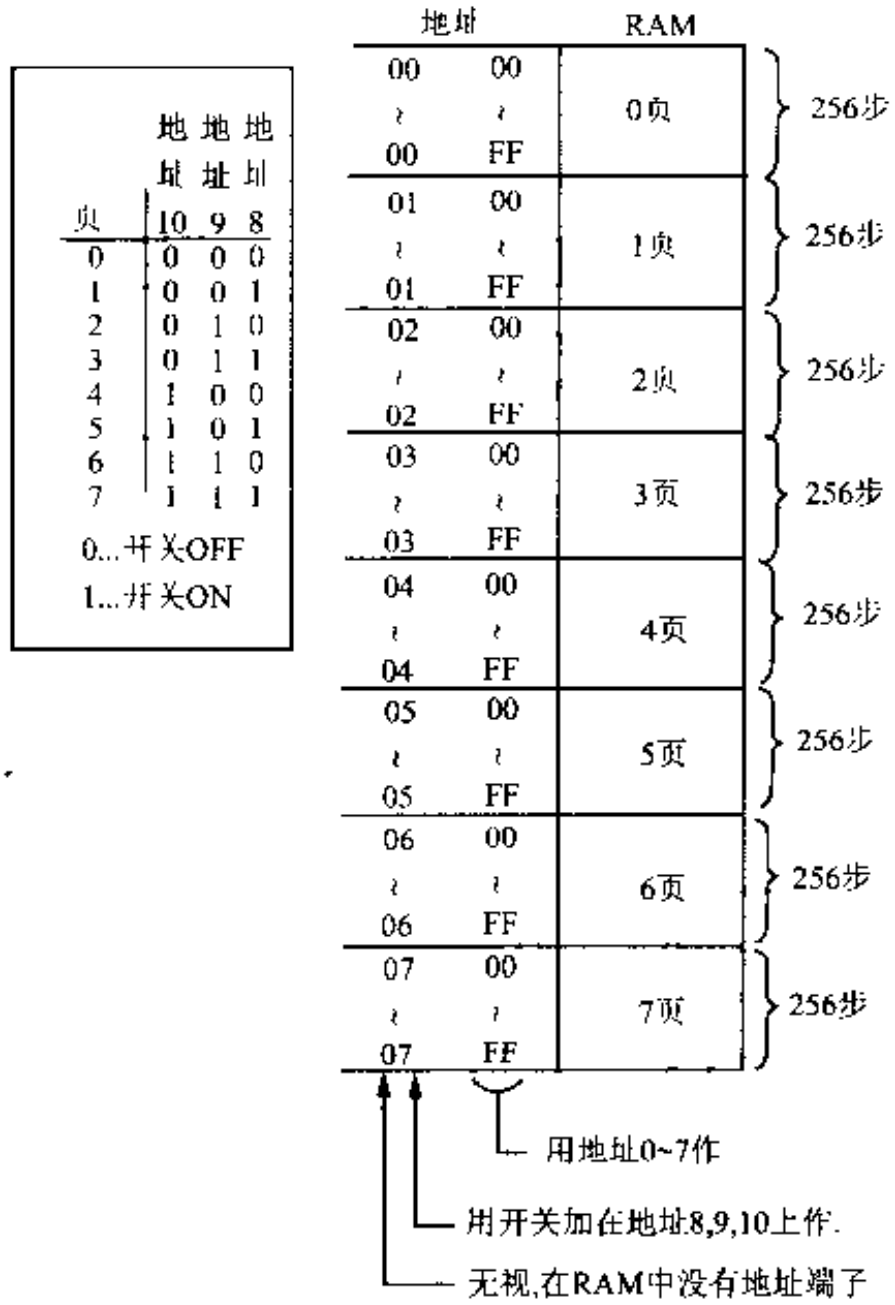


图 6　存储地址图

图 7 是 4040 的外部电路。4040 是 CMOS 的 12 级二进制计数器，是通用品种。



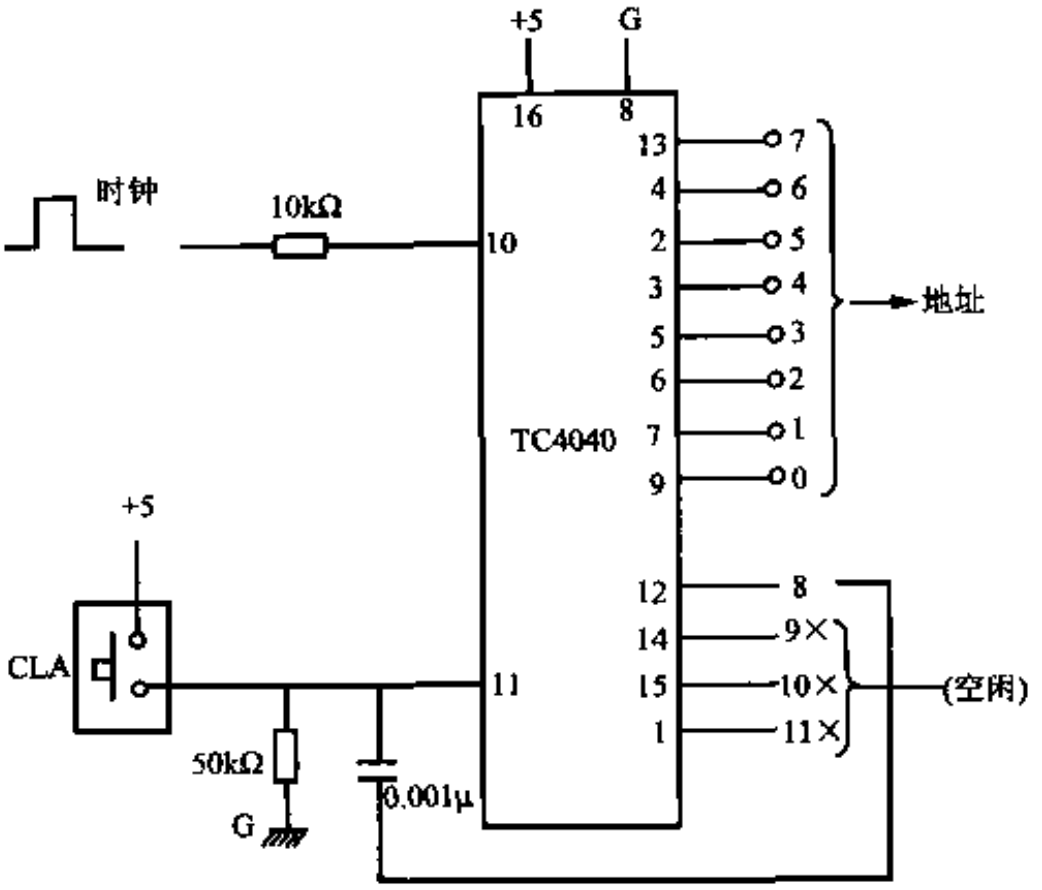


图 7　4040 地址计数器的外围电路

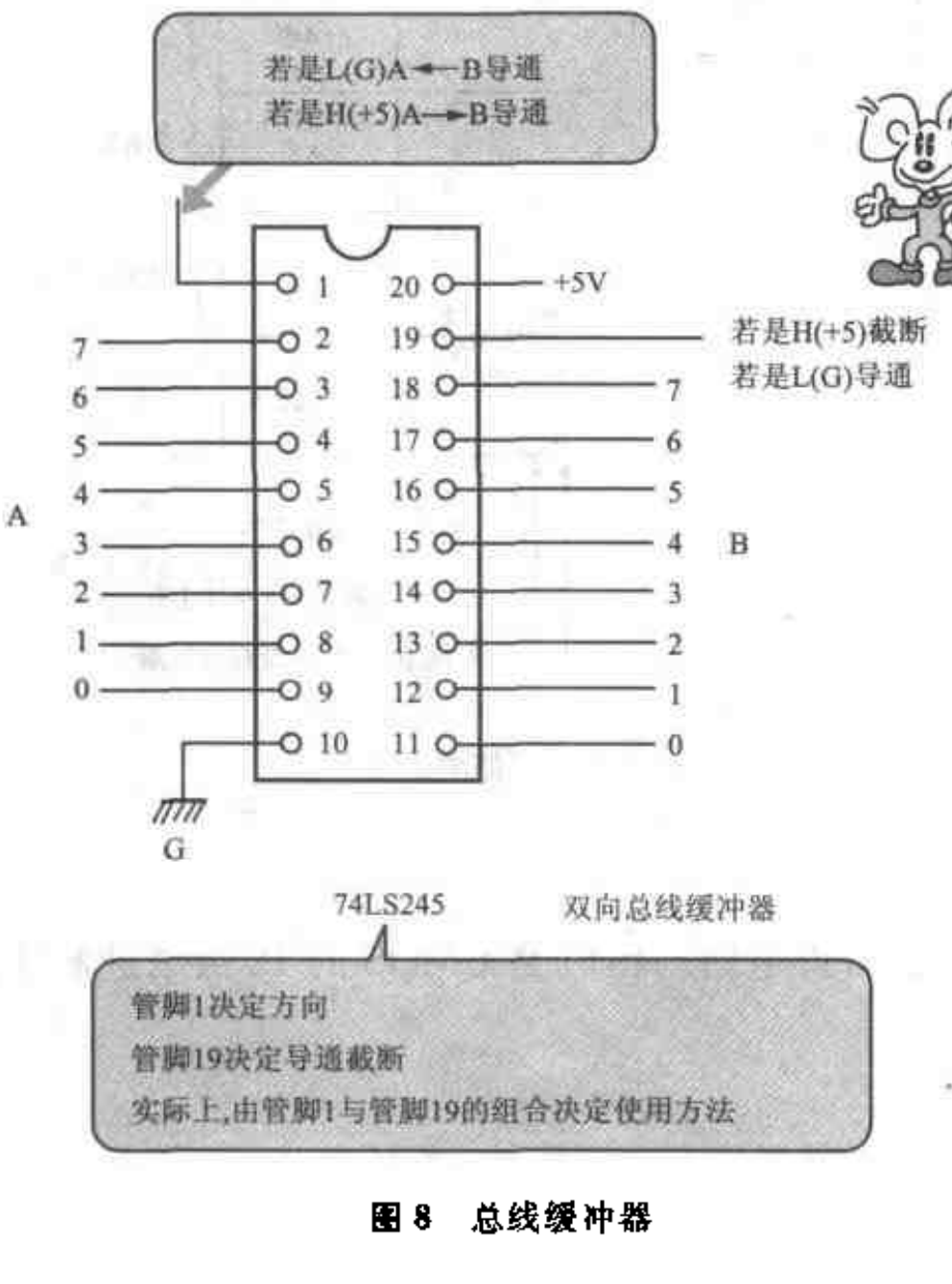


图 8　总线缓冲器

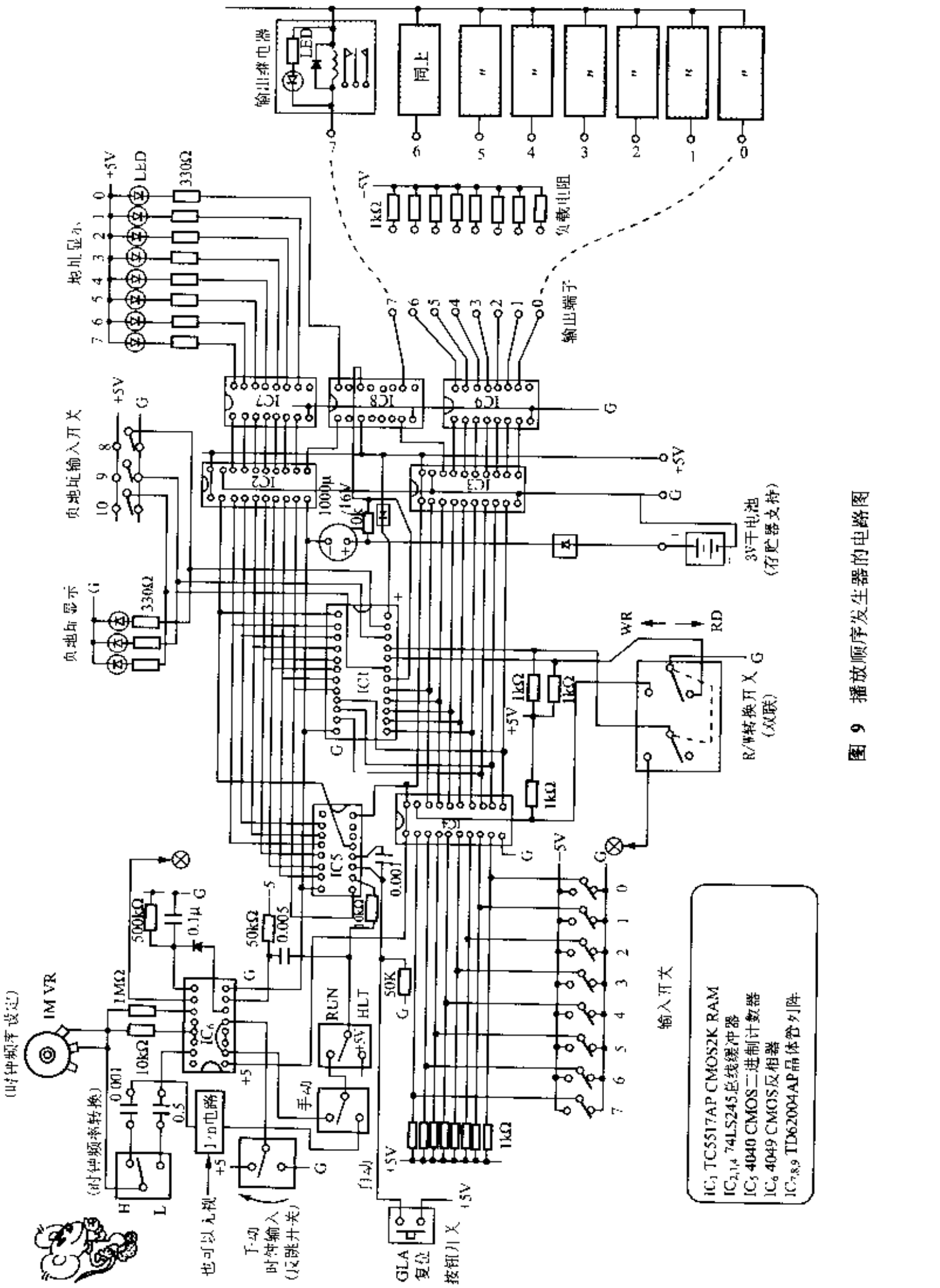


图 9 播放顺序发生器的电路图

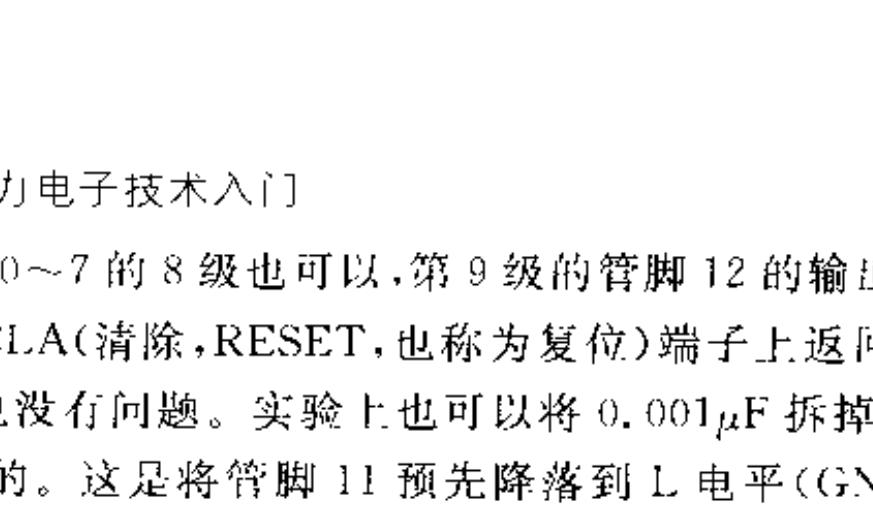
如果仅仅有 0～7 的 8 级也可以，第 9 级的管脚 12 的输出通过 0.001μF 施加在管脚 11 的 CLA(清除，RESET，也称为复位)端子上返回到开始。即使不作这些，原理上也没有问题。实验上也可以将 0.001μF 拆掉试试看。50kΩ 的电阻是绝对需要的。这是将管脚 11 预先降落到 L 电平(GND)的目的。在这里，如果施加 H 电平(+5V)，就被 CLA(复位)。

管脚 10 是时钟输入，通过 10kΩ 左右的电阻施加信号。虽然该电阻原理上是不用的，但是在实际的业务上有时也可用到它。

观察图 2 就能看到，在数据总线、地址总线上带有总线缓冲器的 IC。在微计算机的电路中，是有重要影响的 IC。

图 8 示出总线缓冲器 74LS245 的条件。当将它组装在微计算机上时，牢记该 IC 的管脚配置及管脚 1 和管脚 19 的条件是原则。图 2 的数据输入开关进入数据总线地方的总线缓冲器，在 WR 的时候，数据输入开关必须连接数据总线，在 RD 的时候，由于数据从 RAM 出来，输入开关必须预先从数据总线分离。进行该项工作的是管脚 19。

图 9 是总结上述内容的全电路的连线图。图 10 示出使 LED、继电器动作的放大用晶体管阵列 TD62004AP。



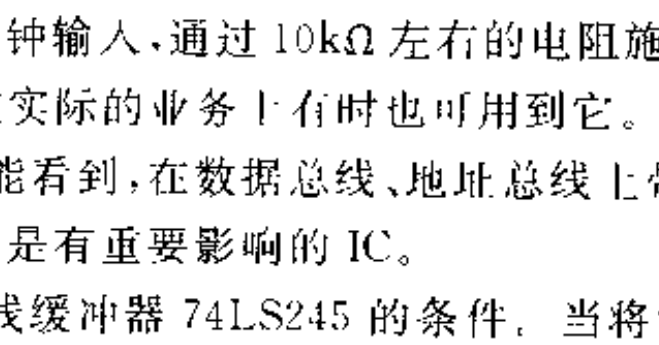
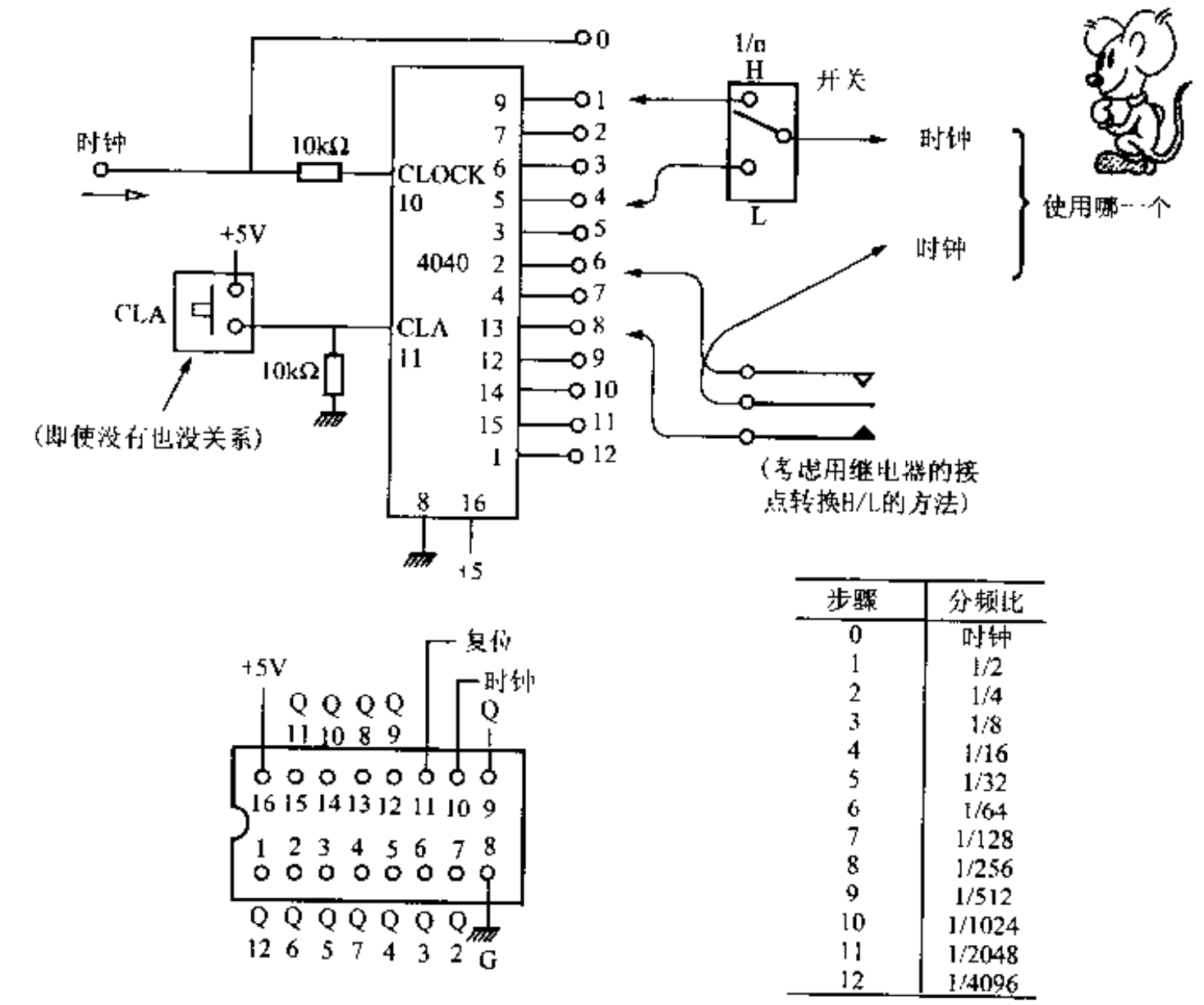


图 10　TD62004AP

虽说该 IC 可以看作是晶体管，它的耐压达到 50V，能够流过 0.5A 电流，实际上，在 24V 以下、100mA 程度使用较合适。它是能够与 LED、12V 或者 24V

的继电器直接连接的方便的 IC。

图 11 是在图 9 中加入 1/n 分频电路的部分，如果根据实验目的也可以随后再安装该电路部分。一看就明白，将时钟分频，H/L，例如用开关或者继电器（0～7 的输出继电器的那一个）进行切换、得到例如 1/2 和 1/8 那样的分频。这将在后面的使用方法的实验中提出。图 12 示出了电源。



步骤	分频比
0	时钟
1	1/2
2	1/4
3	1/8
4	1/16
5	1/32
6	1/64
7	1/128
8	1/256
9	1/512
10	1/1024
11	1/2048
12	1/4096

图 11　1/n 分频电路

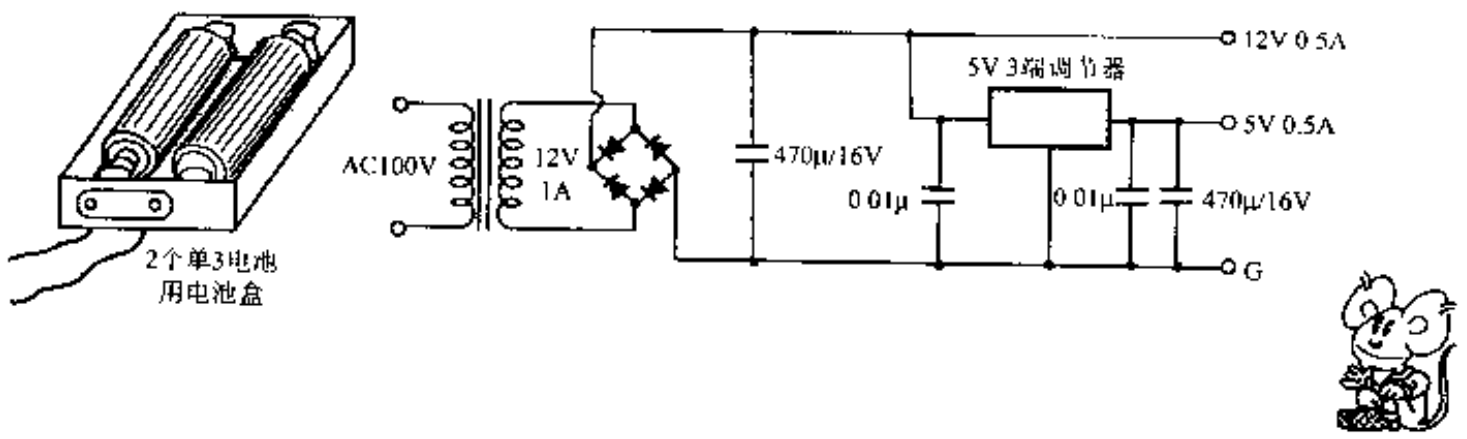


图 12　电　源

制　作

图 13 是印制电路板的一个例子。由于图形的缘故有表面连接线。

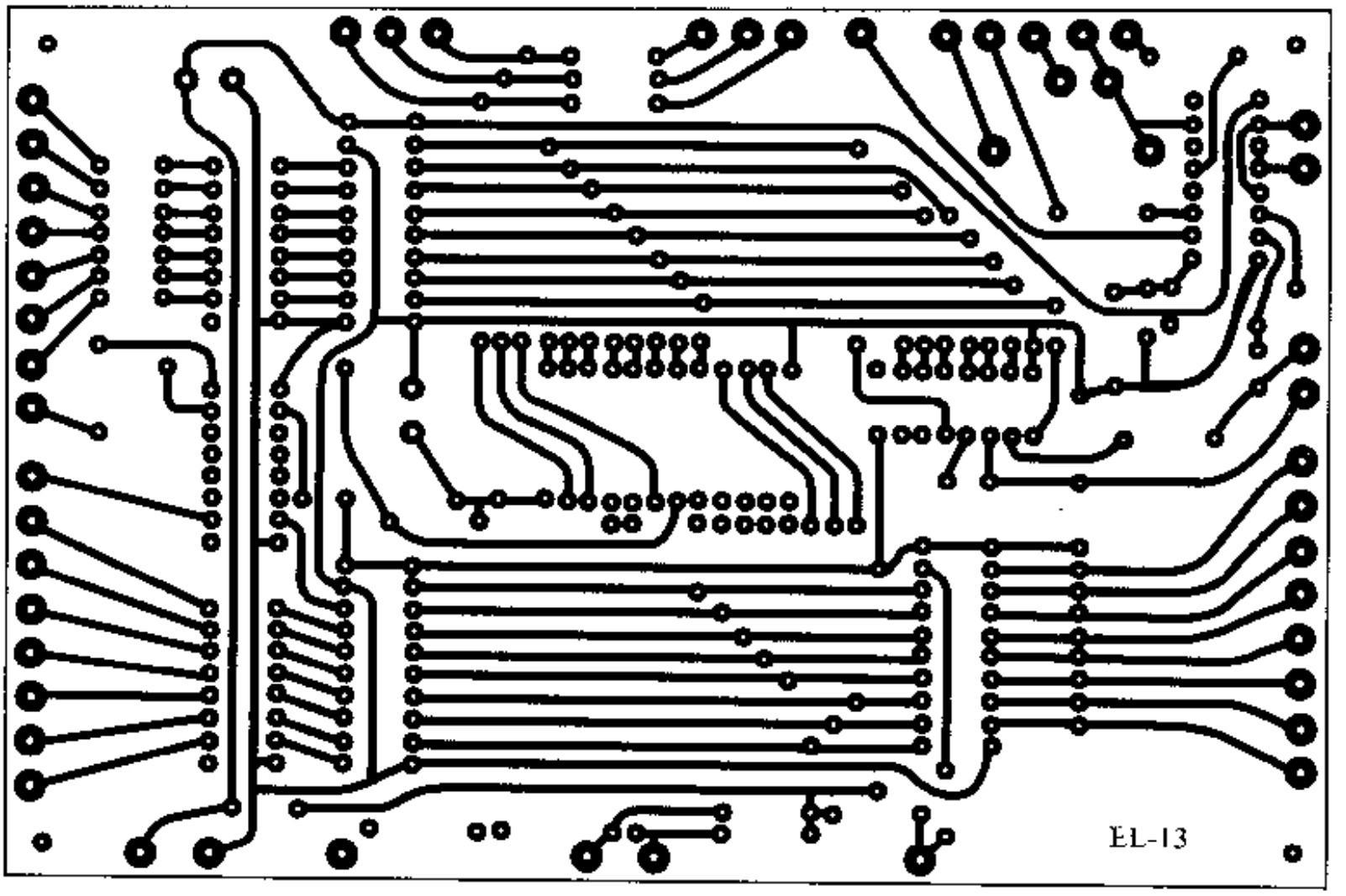


图 13　印制电路板图(原尺寸大小)

图 14 是以印制电路板为中心的实物布线图。参照该图就能理解配电盘上的开关,继电器等与印制电路板的连接。

在机箱、底壳上下些工夫,就能以你喜好的形式完成制作。

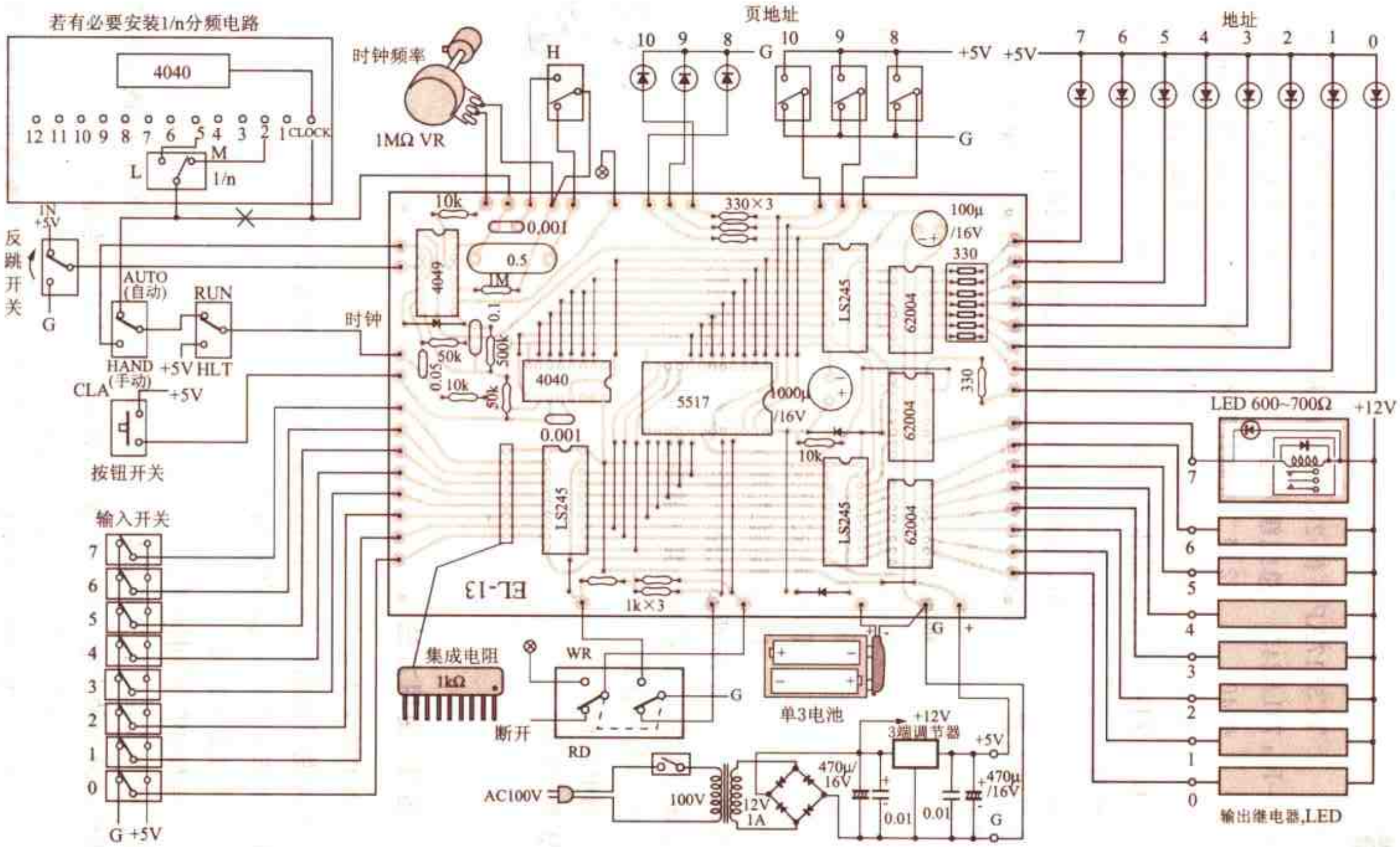

若有必要安装1/n分频电路
4040
12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1 CLOCK
L
M
1/n
时钟频率
1MΩ VR
H
页地址
10 9 8 G
10 9 8 +5V
G
+5V
地址
7 6 5 4 3 2 1 0
10k
0.001
0.5
1M
330×3
100μ /16V
330
4049
0.1
500k
50k
0.05
10k
50k
4040
5517
1000μ /16V
10k
0.001
LS245
LS245
62004
62004
62004
LS245
62004
1k×3
EL-13
IN +5V
反跳开关
G
AUTO (自动)
RUN
时钟
HAND (手动)
+5V
HLT
CLA
+5V
按钮开关
输入开关
7 6 5 4 3 2 1 0
G +5V
集成电阻
1kΩ
WR
G
断开
RD
单3电池
G +
+12V
3端调节器
+5V
AC100V
100V
12V
1A
470μ/ 16V
0.01
0.01
+470μ /16V
G
LED 600~700Ω
+12V
7 6 5 4 3 2 1 0
输出继电器,LED

图 14 实物布线图

部　件

IC_1	TC5517AP	8 位 2K C MOS RAM	……1 相当产品也可以
IC_2～IC_4	74LS245	总线缓冲器	……3 也有 C MOS
IC_5	4040	12 级二进制计数器 C MOS	……1(2) 通用品种
IC_6	4049	缓冲反相器 C MOS	……1 通用品种
I_7～I_9	TD62004AP	晶体管列阵	……3 相当产品也可以
IC 管座		与 IC 数同	
LED		11 个，与输出继电器并联安装时是 19 个	
输出继电器		DC12V 小型继电器，可以根据喜好选择，哪个都可以	
开关		输入开关 8 个	
		地址开关 3	
		RUN/HLT，AUTO/HAND，H/L，1/nH/L，……4	
		RD·WR 2 联 ……1	
		IN 反跳式开关 ……1	
		CLA 按钮式开关 ……1(2)	
电源		图 12 所示电路 一套（请对照电路图）	
电阻，电容，二极管类一套（请参照电路图）			
1MΩ VR ，旋钮			
印制电路板			
底盘（机箱）			



运转，使用方法

(1) 步进输入方式

如最初说明的那样，相互间用任意开关 1 步使继电器 ON，OFF，是将它的条件存储下去的方式，是最基本的手法。

(2) 自动步进方式

这也与最初的说明同样。

该二种方式在装置完成后如果经多次练习，自然就会理解，应该考虑实际应用到什么地方的方法。由于是机械，必须熟悉它的运转操作。

(3) 在 256 步的中途使它重复的方法

如果是微计算机用程序就能特别简单地实现，但是在该装置中却不能简单

实现。作为一种方法，如图 15 所示，考虑将继电器 7 与 CLA(返回到开始)用对照的方法。

因此，用输出继电器 0～6 的 7 个继电器进行所要做的工作，步进前进，当希望在这里结束时，使第 7 个继电器 ON，将这个预先存储好，一旦继电器 7 ON 时，CLA 的按钮开关就成为“按下”状态，重复迄今为止的步骤。

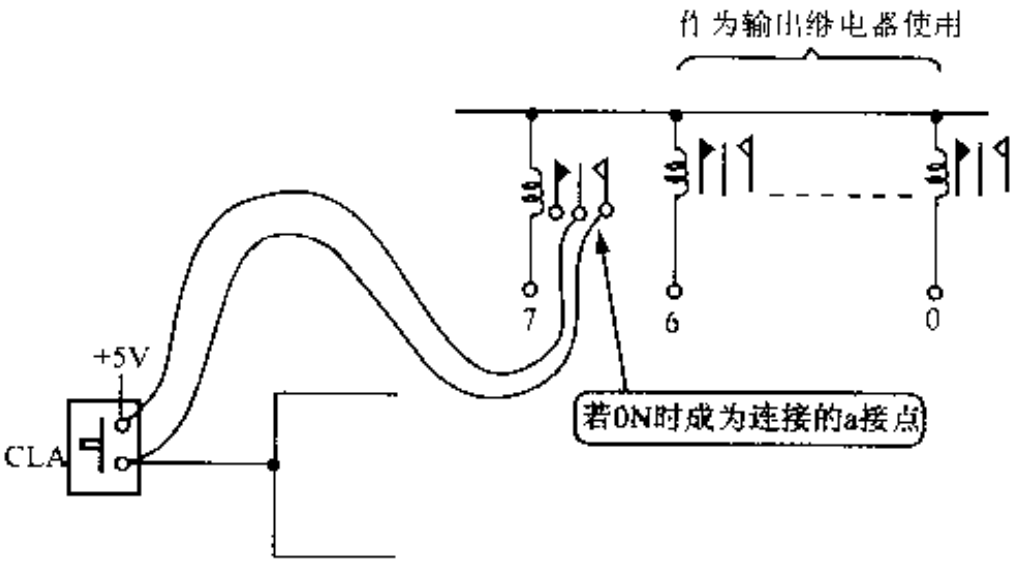


图 15

(1) 在步进的中途自动变更时钟速度的方法

如图 16 所示，将继电器 7 与 H/L 切换用比较，预先决定好继电器如果是 OFF 为高速，如果是 ON 为低速。例如，在使步骤顺序存储下去时，当希望该步骤在短时间结束的时候，使继电器 7 也同时存储 ON，由于希望该步骤长时间保持，所以也考虑将继电器 7 号 OFF 存储等方法。1/n 的分频电路的分频比示于图 11。

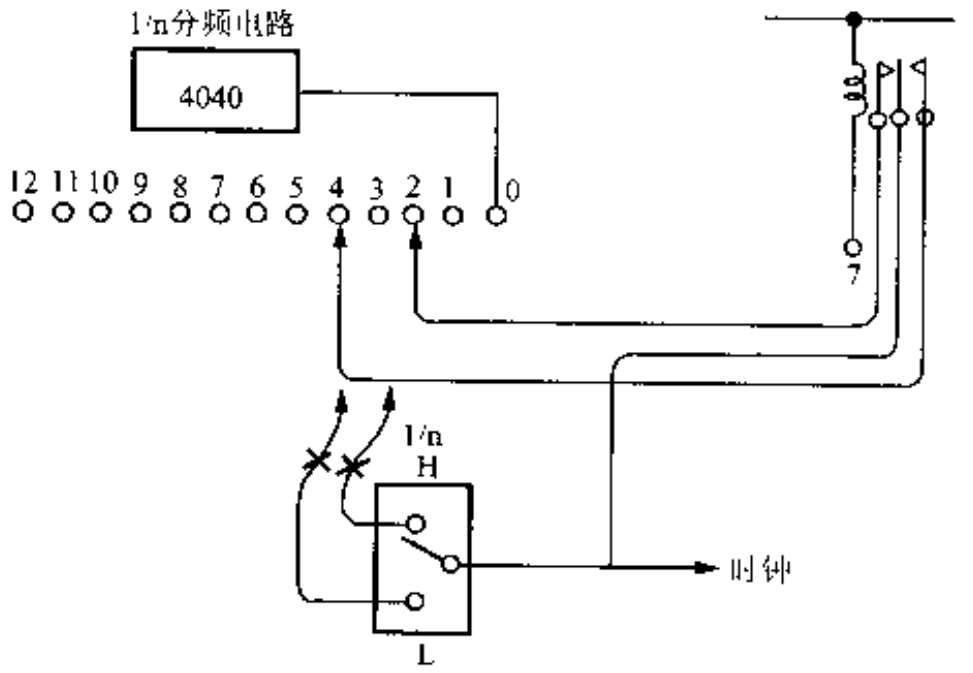


图 16　用继电器的接点进行 H L 切换的方法

例如，用 1MΩ 的 VR 和 H/L 切换开关将原振荡的时钟设定为 1 秒周期时，

1/n 分频的 H……0 步 ……1 秒

1/n 分频的 L……6 步 ……64 秒(约 1 分)

12 步 ……1.1 小时

当对原振荡的周期进行微调时，能够调整几乎 1 分、1 小时。若将原振荡使用水晶振子，能够正确的调整 1 秒，或者 1 分、1 小时，按照使用目标有的情况下也是有益的。

另外，假如在时钟为 1 秒，希望保持 3 秒钟的时候，用 3 步相同形状前进应该可以。现在，将 1/n 分频的 H/L 置于 L 时，就能将原振荡调整为 10 分周期。由于 1 小时是 6 步，24 小时则为 144 步，也可以考虑决定将 1 天以 10 分钟为间隔使电灯点亮、熄灭，使冰箱 ON、OFF，确定洒水等的时间表等等，使之按时间表运转。

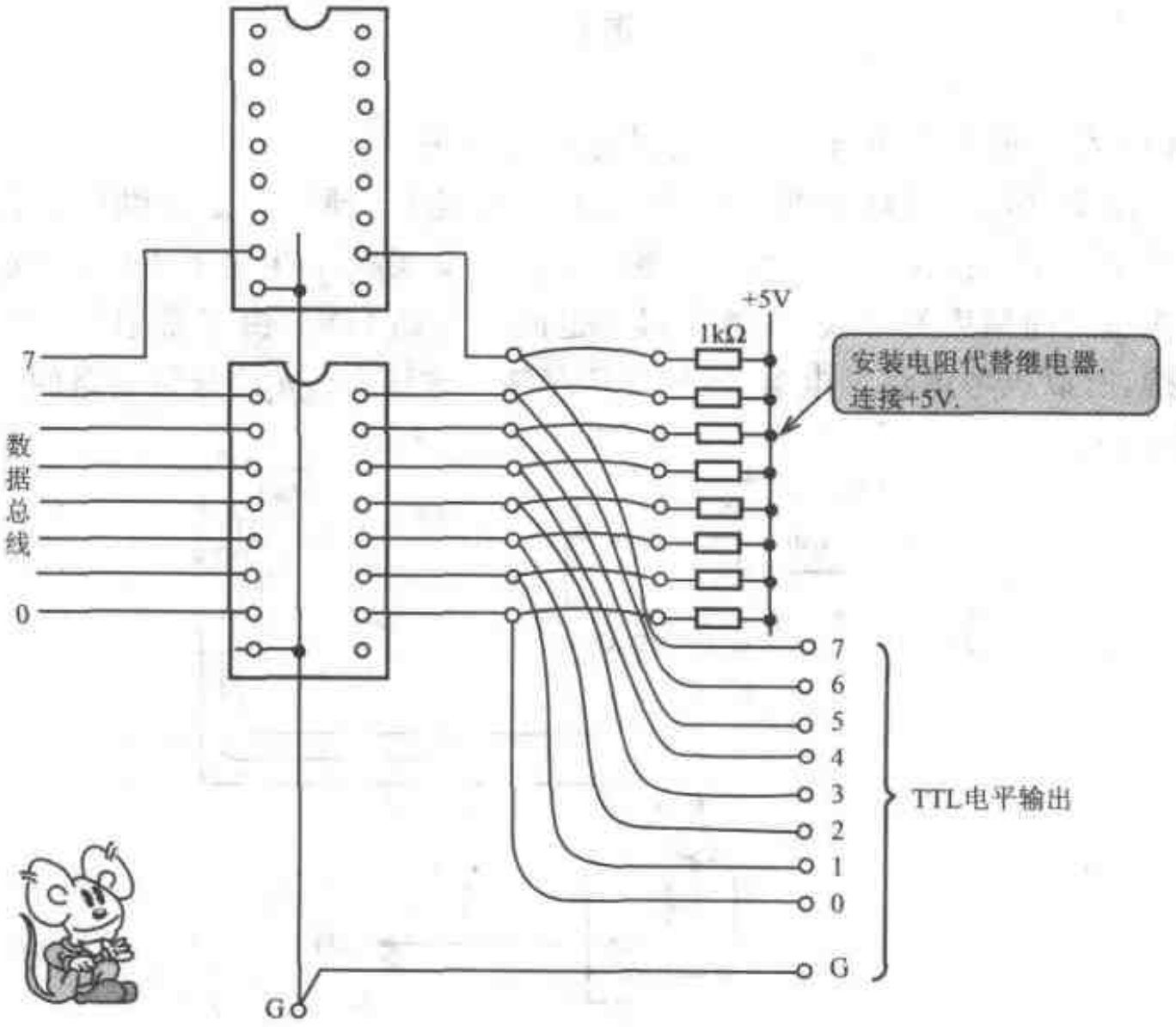


图 17

(5) 页面的变更

页面的变更，由于用手动选择目标的页面即可，用开关 8、9、10 决定 0～7 的任意的页面，使它预先存储各种各样的目标动作，确定必要的页面使其运转即可。

例如，可以联想到由金属铸模存储运转操作的时间经过不同的制品的运转顺序时，0 页存储该金属铸模，1 页存储那个金属铸模，应该能够存储 8 种类型。如果金属铸模决定了，取出那一页使之运转即可。

当存在因星期而顺序不同的操作时，也可以同样考虑。

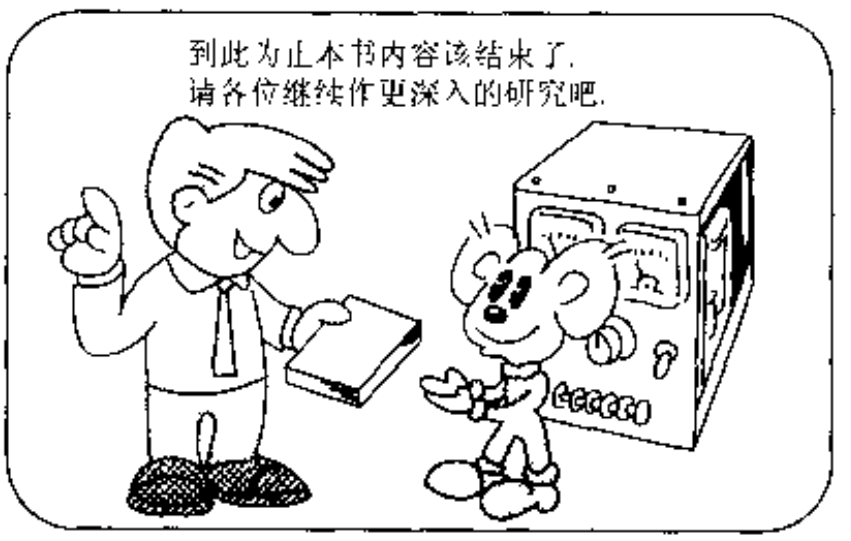
(6) 作为数字输出的取出方法

如图 17 所示，用电阻代替继电器连接到 +5V 上，就能够取出作为 TTL 电平的数字信号输出。

虽然这里没有触及究竟将这 8 位数字信号使用到什么地方的问题，但是只要你把这件事放在心上，认真思考的话，有很广泛的应用范围能想到的。请考虑向什么地方应用的问题。

总之，对于除以上要求以外的情况，与其挖空心思去对应，不如使用 CPU 向微计算机上发展更好。

还没有想到利用微计算机的读者，如果有这种想法，请打开《控制用微计算机的制作方法和使用方法》(OHM 社)一书看一看。那里讲的不过是现在提出的装置的延长线上的技术。



[General Information]
书名=book_11119016
作者=
页数=189
SS号=11119016
出版日期=

封面
书名
版权
前言
目录
目　　录

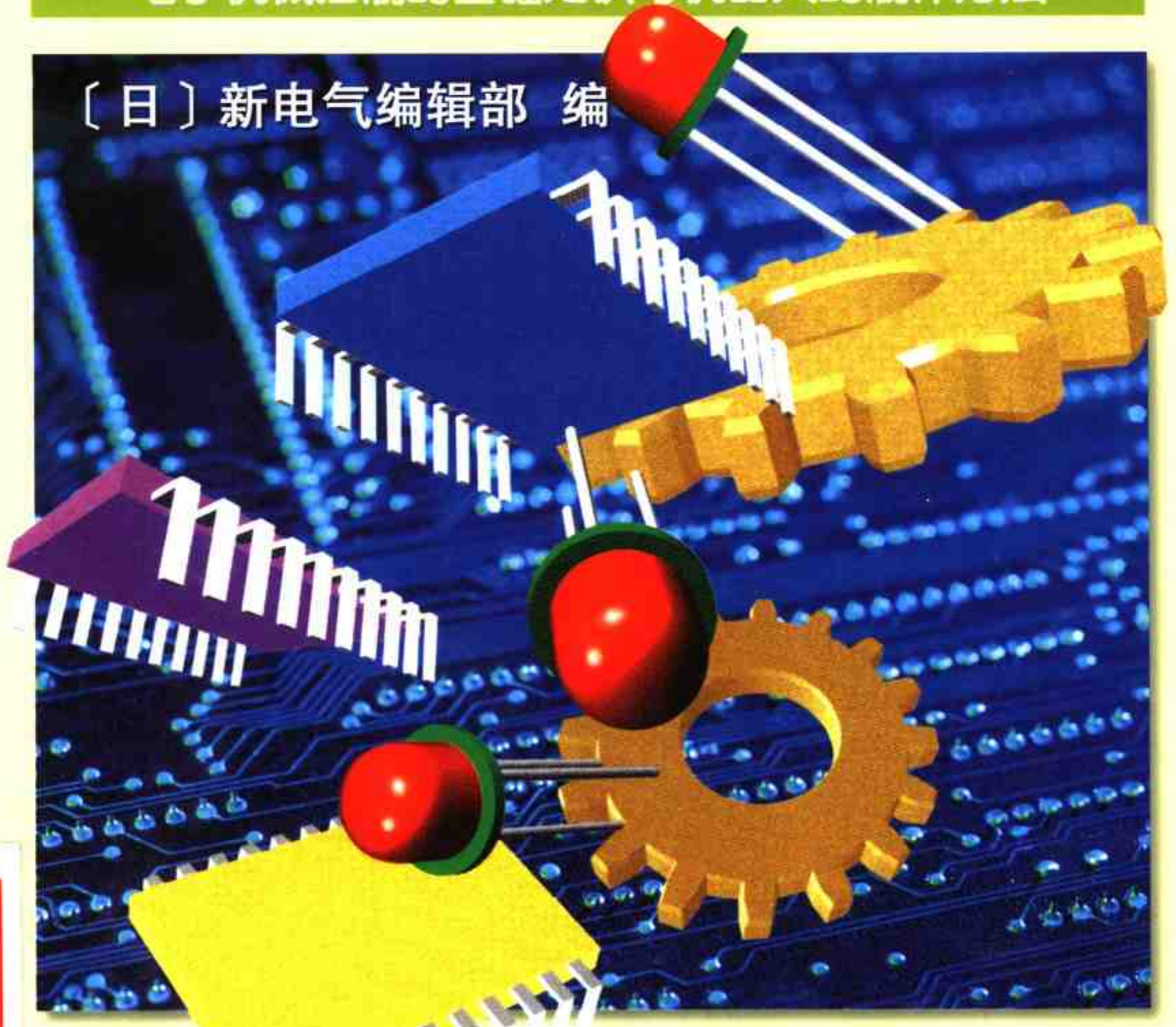
第１章电子电路的基础知识
１熟悉电路图——简单电路图的读法和画法
２电阻器的选择方法——色标的读法
３电容器的特点
４万用表的使用方法　　与其学习原理不如习惯其用法
５了解发光二极管（ＬＥＤ）——熟练使用ＬＥＤ
６活用ＬＥＤ——求出限流电阻
７示波器的使用方法——用波形观察看不见的“电”
８二极管和晶体管的工作原理
９晶体管的特性
１０电源整流电路的结构
１１晶体管放大电路
１２晶体管应用电路——学习使用传感器
第２章电力电子技术入门
１实验装置用土４～１８Ｖ稳压电源的制作
２可变型３端调节器（使用ＬＭ３１７、ＬＭ３３７）实验用电源的制作方法
３镍镉电池用５００ｍＡ恒流式充电器的制作
４晶闸管式１０Ａ恒流型充电器的制作方法
５　５Ｖ／２Ａ开关式稳压电源（使用μＡ７２３）的制作方法
６　４～１３Ｖ／２Ａ开关式稳压电源（使用ＳＧ３５２４）的制作方法
７　５Ｖ／５Ａ开关电源的制作方法
８电源转换器ＤＣ１２Ｖ→ＡＣ１００Ｖ５０Ｈｚ／６０Ｈｚ正弦波输出４０Ｗ转换器的制作方法
９电源转换器ＤＣ１２Ｖ→ＡＣ１００Ｖ５０Ｈｚ／６０Ｈｚ正弦波输出１００Ｗ转换器的制作方法
１０温度传感电路的制作方法和调整方法
１１测量水溶液电导率（溶液的电阻值）的传感电路的制作及调整方法
１２功率因数或无功功率（无功电流）传感器的制作
１３播放顺序发生器的制作方法

OHM 电子爱好者读物

电子控制入门

电子机械控制的基础知识与机器人的制作方法

〔日〕新电气编辑部 编



科学出版社
www.sciencep.com

(TN-0443.0101)
责任编辑　崔炳哲
责任制作　魏　谨
责任印制　刘士平
封面设计　李　力

◇◇◇◇◇◇◇ 内　容　简　介 ◇◇◇◇◇◇◇

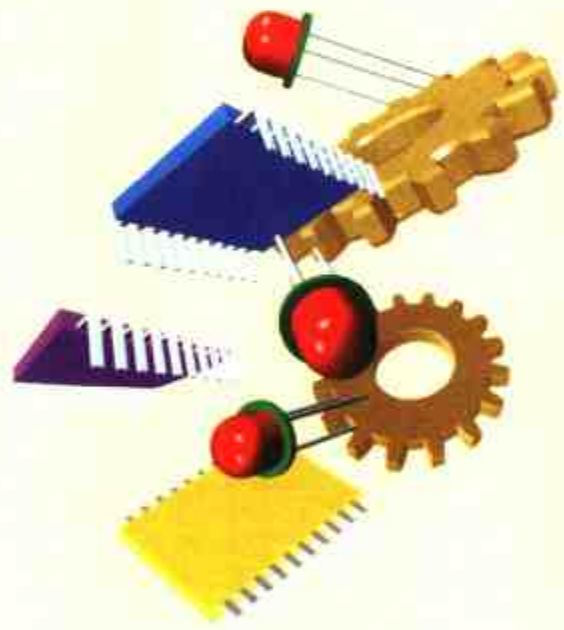
“OHM电子爱好者读物”系列共有6本，涉及电子电路、电子机械、电子控制、数字电路、机电一体化、电子技术等。本系列以初学者为对象，以实用技术为重点，利用丰富的插图，甚至建立模拟教室以对话的形式、通俗易懂地介绍相关内容。阅读本系列的读者最好边学习边实践，以使所学知识变成自己有用的技能。

本书是“OHM电子爱好者读物”之一。书中首先介绍传感器与执行机构等控制所需的基本知识与技术，然后以信号灯顺序控制及相扑机器人制作为例，讲述了计算机控制基础知识，内容包括各种控制用微机、接口、控制程序编程语言等知识及其应用。

本书可供计算机控制相关专业的大专院校学生学习使用，亦可供从事自动控制领域的技术人员参考阅读。

OHM电子爱好者读物

电子电路入门
数字电路入门
电子机械入门
电子电路与电子技术入门
电子控制入门
机电一体化入门



ISBN 7-03-011087-0
9 787030 110879 >

ISBN 7-03-011087-0
定　价: 20.00 元

OHM电子爱好者读物

电子控制入门

电子机械控制的基础知识与机器人的制作方法

〔日〕新电气编辑部　编
崔东印　译

科学出版社
北京

图字：01-2003-0411 号

Original Japanese language edition
Hajimete Manabu Denshi Seigyo Nyumon Hayawakari
Edited by Shindenki Henshubu
Copyright © 1998 by Ohmsha, Ltd.
Published by Ohmsha, Ltd.
This Chinese version published by Science Press, Beijing
Under license from Ohmsha, Ltd.
Copyright © 2003
All rights reserved

初めて学ぶ
電子制御入門早わかり
オーム社 1998

图书在版编目(CIP)数据

电子控制入门/(日)新电气编辑部编；崔东印译. - 北京：科学出版社，2003
(OHM 电子爱好者读物)

ISBN 7-03-011087-0

Ⅰ.电… Ⅱ.①新…②崔… Ⅲ.电子控制-基本知识 Ⅳ.TN.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 106822 号

责任编辑 崔炳哲 **责任制作** 魏 谨
责任印制 刘士平 **封面设计** 李 力

科学出版社 出版
北京东黄城根北街 16 号 邮政编码：100717
http://www.sciencep.com

源海印刷有限责任公司 印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作
http://www.okbook.com.cn

科学出版社发行 各地新华书店经销

2003 年 7 月第 一 版 开本：B5(720×1000)
2003 年 7 月第 次印刷 印张：12
印数：1—5 000 字数：197 000

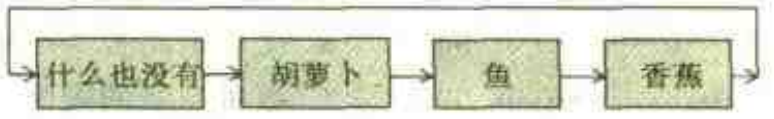
定 价：20.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换(新欣))

卷首插图 皮耶罗魔术师的“机关”



卷首插图所示的魔术节目中，中心部分是台子上的东西按下述顺序变化的魔术用“机关”。



利用同样的“机关”，1900 年法国的鲁诺发表了名为“可爱的魔术师”的木偶。在日本，1796 年细川半藏编写的“机巧图汇”中已有名为“品玉人形”的魔术木偶的制作记录。总之，过去的“机关”木偶，都是熟练的工匠靠着精工细作的技艺制作出来的。“皮耶罗魔术师”的“机关”，不仅与微机控制很相似，而且也考虑到制作上尽可能地简单（台上东西变换的机关如图 1 所示）。



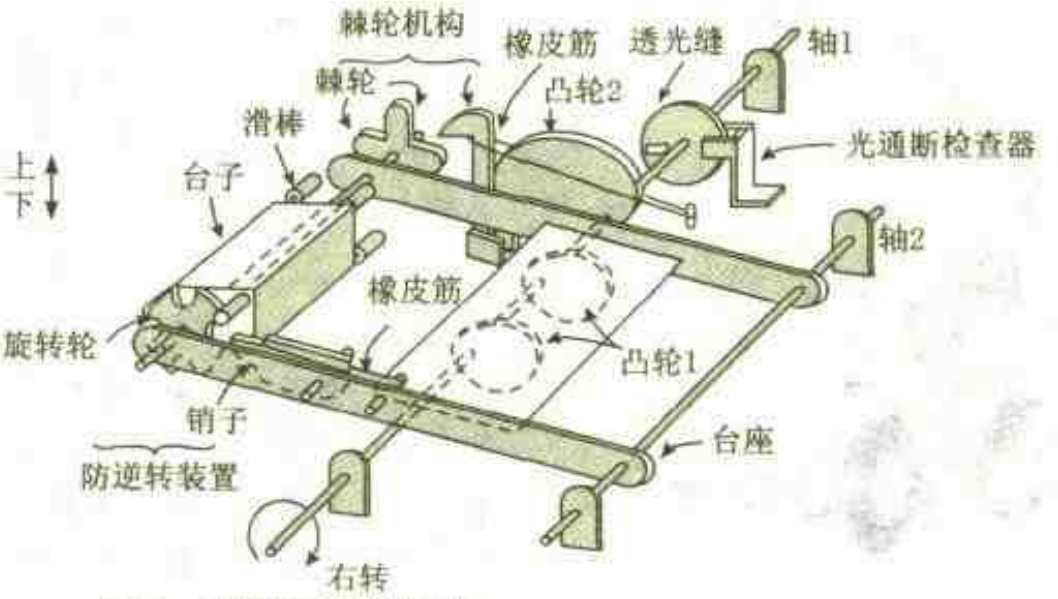


图 1　调换东西的机构

电机使轴 1 旋转，由于凸轮 1 的作用，台座以轴 2 为支点上下转动。而且当台座要向下时，由于凸轮 2 的作用，棘爪离开棘轮，而台座要向上时，棘爪与棘轮啮合，使台子向右回转。即台子向上运动的同时，由于棘轮机构的作用，台子会如图 1 所示向右回转。回转轮与销子组成防逆转装置，以防止台座向下时台子的偶然回转。轴 1 的回转位置（台子的高度），使用光通断检查器进行检测（台子回转嵌入地板的顺序如图 2 所示）。

① 从舞台上看到的台子的 A 面；

② 与①相同的状态下，从侧面看到的台子的样子；

③ 台子下降；

④ 台子右转的同时上升；

⑤ 只要台子转过 45°以上，台子四角的滑棒就会滑入地板；

⑥ 台子被引导到确定位置，B 面被正确嵌入地板。

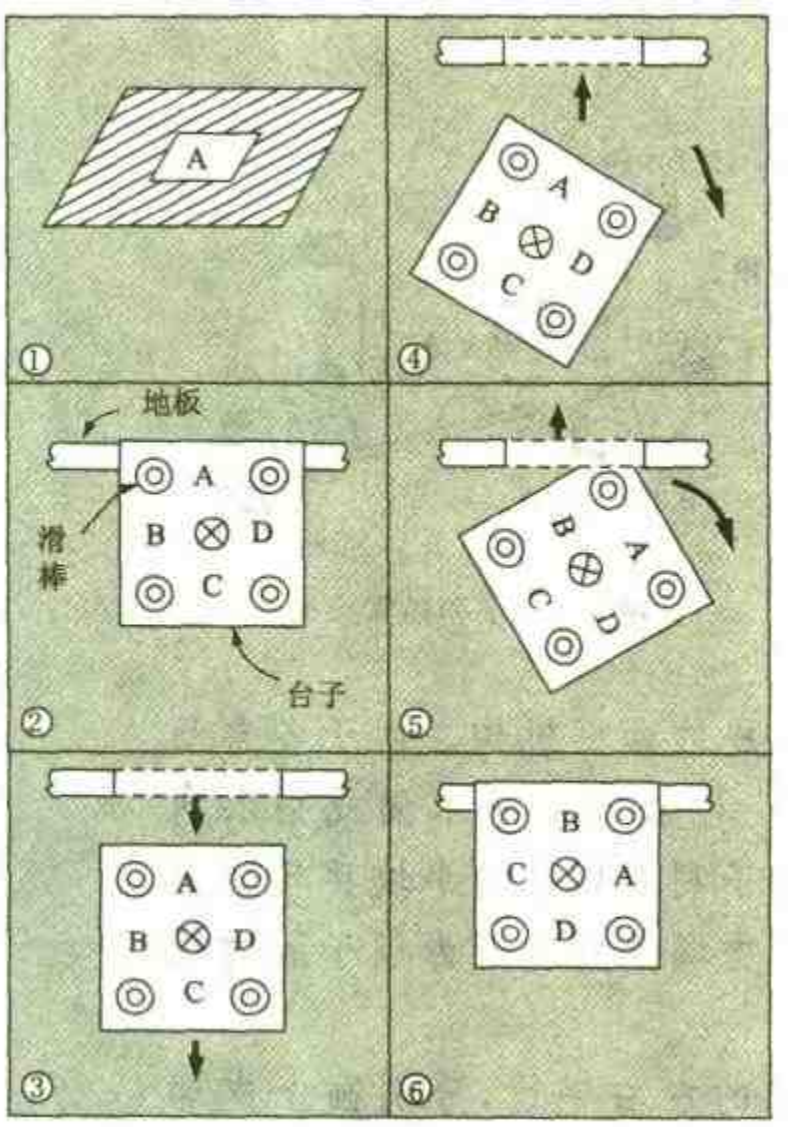


图 2　台子的回转机构

以后，重复同样的动作，台子即可按C、D、A的顺序变化登场（皮耶罗举、放箱子的机关如图3所示）。

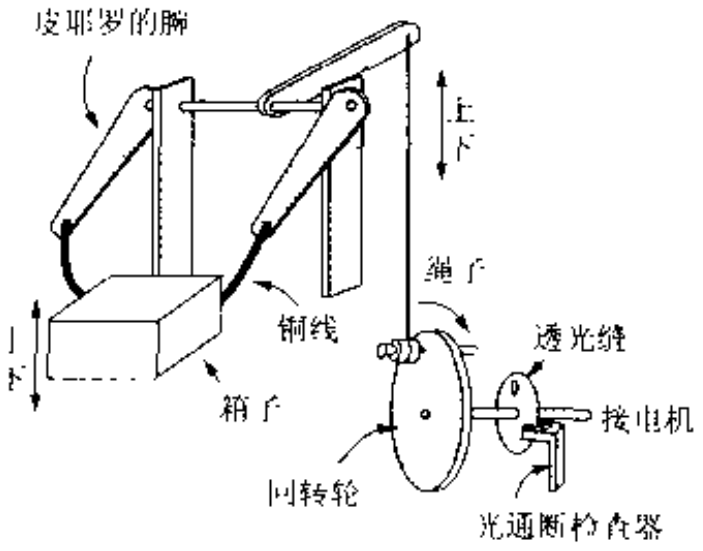


图3　举箱子机构

这是一个简单的曲柄机构。电机使轴回转，使得皮耶罗的脸上下。脸上下状态的位置，用光通断检查器进行检测（兔子和猫露头机关如图4所示）。

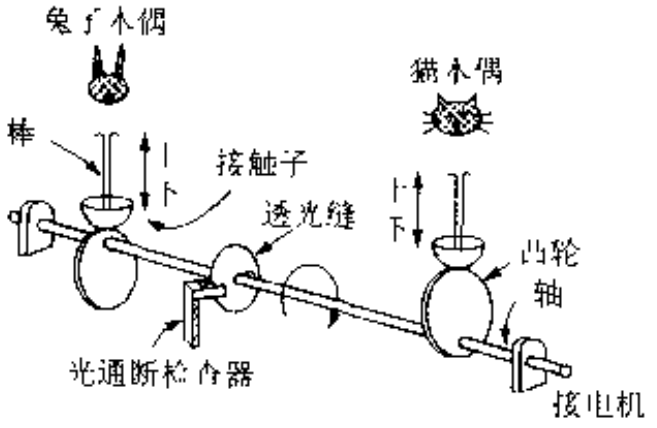


图4　兔子和猫露头机关

这是两只凸轮构成的曲柄机构。由于各自凸轮的作用，会使得其上端放有兔子木偶或猫木偶的棒上下运动。接触子利用切开的半块乒乓球做成，以减小摩擦阻力（皮耶罗的脸变为猴子脸的机关如图5所示）。

在硬泡沫塑料球的左右半边，分别画上皮耶罗和猴子的脸，用电机使其旋转即可。

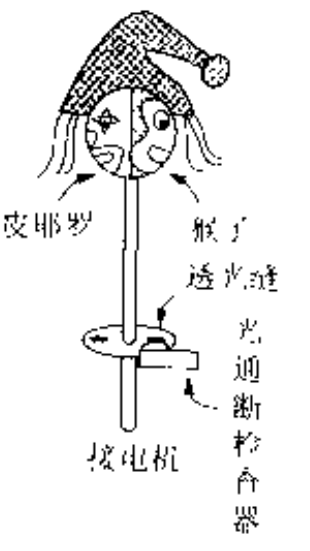


图5　皮耶罗变脸机构

本书著作权和专有出版权受到《中华人民共和国著作权法》的保护。凡对本书的一部分或全部进行转载，或用复印机进行复制或在其他场合引用，以及录入电子设备等行为，均属侵害著作权，构成违法。

本书如需复制、引用、转载、改编时，必须得到版权所有者的许可。

如有任何疑问请与以下部门联系。联系时请尽量使用信函或传真形式。

科学出版社总编部

电话：010－64012994　传真：010－64019810

读者服务部：010－64017892　010－64000246

邮政编码：100717　　地址：北京市东黄城根北街 16 号

http://www.sciencep.com

北京东方科龙图文有限公司

编辑部电话：010－82857401

促销部电话：010－82843276 转 219，220　传真：010－82842304

邮政编码：100029　　地址：北京市朝阳区华严北里 11 号楼 3 层

http://www.okbook.com.cn

目 录

第 1 章 电子控制的基础知识 1

1 传感器与执行机构 …… 2
2 光传感器与温度传感器 …… 5
3 磁传感器与压力传感器 …… 8
4 电磁螺线管与步进电机 …… 11
5 伺服电机及其应用 …… 14
6 接口电路 …… 17
7 A-D 转换与 D-A 转换 …… 20

第 2 章 C 语言控制入门 24

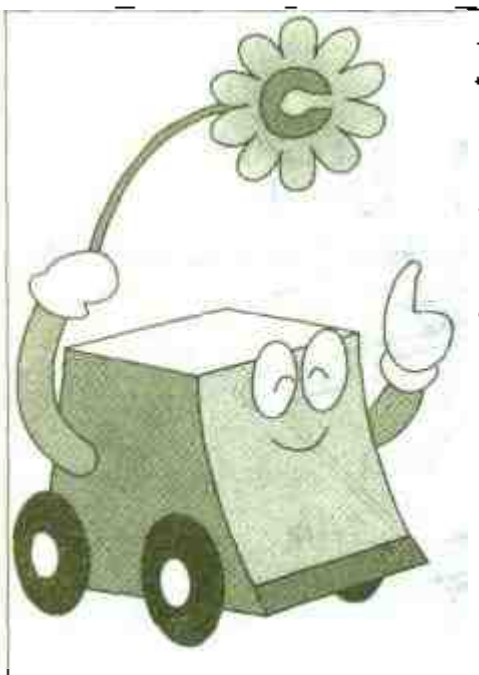
1 LED 的闪烁控制 …… 25
2 LED 闪烁速度的调整与音阶 …… 54
3 LED 闪烁的缓慢停止 …… 79

第 3 章 计算机控制基础 93

1 微机控制的种类 …… 94
2 微机控制的实例 …… 99
3 微机电路板 …… 104
4 微机控制的顺序 …… 109

第 4 章 机器人的制作方法 116

1 机器人相扑比赛大会概况 …… 117
2 自立型相扑机器人“太郎” …… 122
3 微机板的使用方法 …… 126
4 机械部分的制作方法 …… 130
5 电子电路的制作方法 …… 141
6 执行文件的制作方法 …… 149
7 ROM 写入器的使用方法 …… 156
8 遥控调试程序的使用方法 …… 161
9 程序调试实践 …… 167
10 “太郎”的程序 …… 174



本书是按照工业高等学校*电气、电子以及电子机械专业所开设的“电子机械”课程的教学大纲编写的简明计算机控制入门书。

书中首先介绍作为电子机械控制基础的传感器及执行机构的基础，然后介绍 C 语言控制的基础知识。

本书的后半部分，作为计算机控制的基础知识及其应用，介绍相扑机器人的制作方法。

新电气编辑部

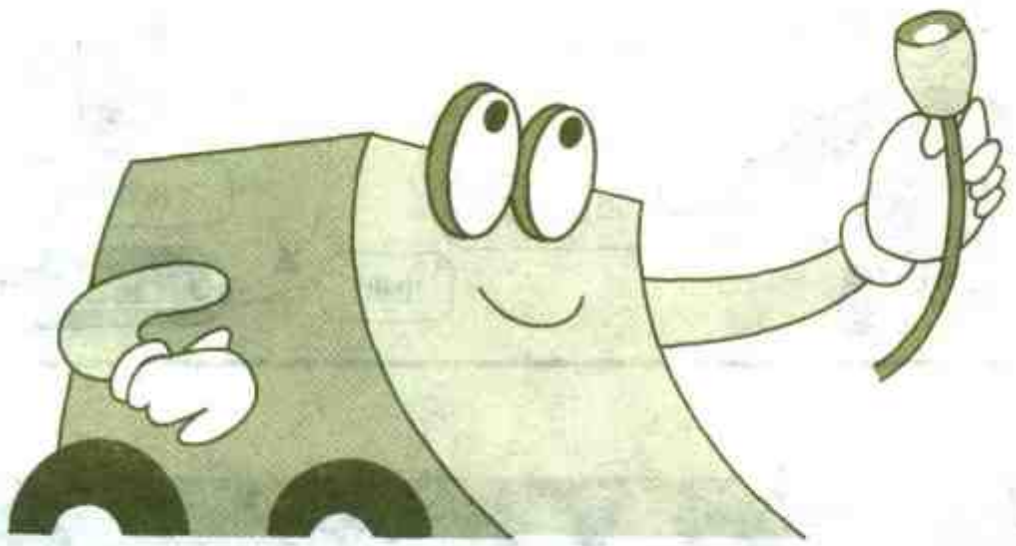
本书各章执笔者分别为

第 1 章	全国工业高等学校校长协会，顾问	岩 本 洋
第 2 章	新潟县立柏崎工业高等学校，教师	小野塚纯夫
第 3 章	东京都立藏前工业高等学校，教师	堀 桂太郎
第 4 章	东京都立藏前工业高等学校，教师	堀 桂太郎
	新潟县立新潟工业高等学校，教师	村田 千夫

* 日本的高等工业学校相当于我国的中专或技校。

第 1 章

电子控制的基础知识



本章学习内容

将光、压力、气体等各种物理量以及化学量变为电量的传感器技术很早就有,随着半导体技术的进步,其研究开发获得了长足的发展。

另外,步进电机以及电磁继电器等执行机构也在进步,各种计算机控制中,种种控制方法得到了利用。

而最初的计算机被衣阿华州大学(美国)的阿塔那索夫称为ABC机,它作为现代计算机的雏形被制造出来以后,世界上相继作出了ENIAC、EDSAC等计算机,奠定了现代计算机的基础。之后还开发了用于机器人以及家电等产品的称为微处理器的小型计算机。

为了用计算机驱动执行机构工作,必须将计算机的输出信号变为驱动执行机构工作所必需的信号。因此要在计算机与执行机构之间设置接口电路,以仔细调整信号的形式及大小等。

本章介绍传感器与执行机构的种种知识,以及接口电路的基本原理。电子控制的基础知识,就是通过这些技术的学习逐渐积累起来的。

1 传感器与执行机构



I　传感器

“传感器”一词现在经常使用。在日本工业标准(JIS)中，传感器被定义为“为实现感觉功能的检测器件”。

这里所谓感觉功能，指的是人的视觉、听觉、味觉、嗅觉、触觉等五种感觉。

为了使机器人之类的计算机控制装置工作，相当于人类感觉功能的检测器件是必需的。这种器件称为**传感器**。

图 1 所示为用传送带移动瓶子，并自动检测瓶子的个数及瓶子中液量的示意图。

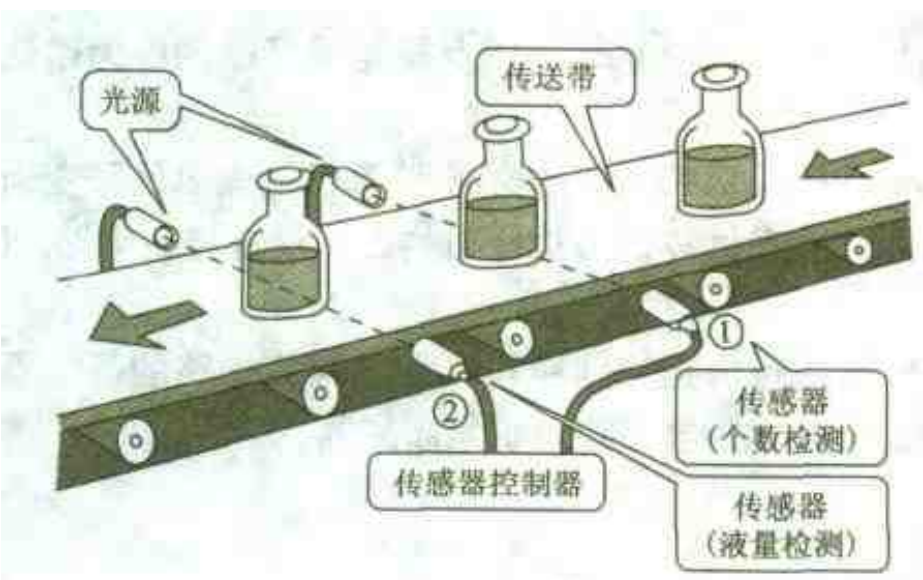


图 1　传感器

传感器①检测个数，传感器②检测液量。传感器就是这样被利用的。

传感器有各种各样，典型的传感器有：

光传感器 用于检测眼睛能看到的光(可见光)以及看不见的光(紫外线、红外线)。

温度传感器 用于检测物体发出的热以及由热产生的辐射线等。

压力传感器 给物体施加压力即会发生变形。压力传感器用来检测其变形的程度。

气体传感器 用于检测气体的泄漏量及气体的种类。

磁传感器 用于检测是否有磁。

Ⅱ 执行机构

把电能变为机械能而做功的机器称为**执行机构**。例如，将电能变为回转运动的电动机是驱动器，将气压、油压等变为直线运动的气缸、油缸也是执行机构。

图 2(a)为人手要抓球的示意图。为抓球，要将指头移近球，而且必须适当地运动肌肉。

图 2(b)为机器人的手要抓球的示意图。为抓球，电动机和气缸必须要有适当的动作。

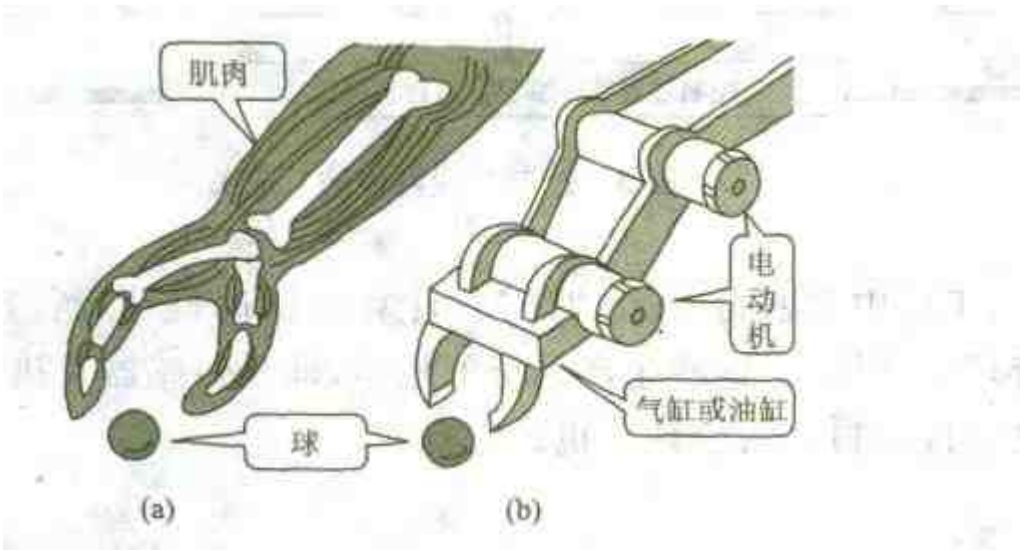


图 2 执行机构

根据驱动能源的不同，执行机构被分为电气型、气压型、油压型等。

- 电气型
  - 电磁铁 —— 电磁螺线管
  - 电动机 —— 伺服电机，步进电机
- 气压型 —— 气压马达，气缸
- 油压型 —— 油压马达，油缸

Ⅲ　控制装置与人体部位的对应关系

为了看电视节目，要拨开关、调频道、调音量。这种为满足用户的需求而进行必要的操作，称之为**控制**。

图 3 示出的是控制装置与人体部位的对应关系。

人是以耳闻目睹的信息为基础，用头脑思考、判断，再用手足进行动作。这时信息作为一种信号，通过神经系统进行交换。控制系统中，与此神经系统相对应的，即是接口。在计算机与控制对象间连接电子电路，以调整信号的大小及形状的电子电路称为**接口**。

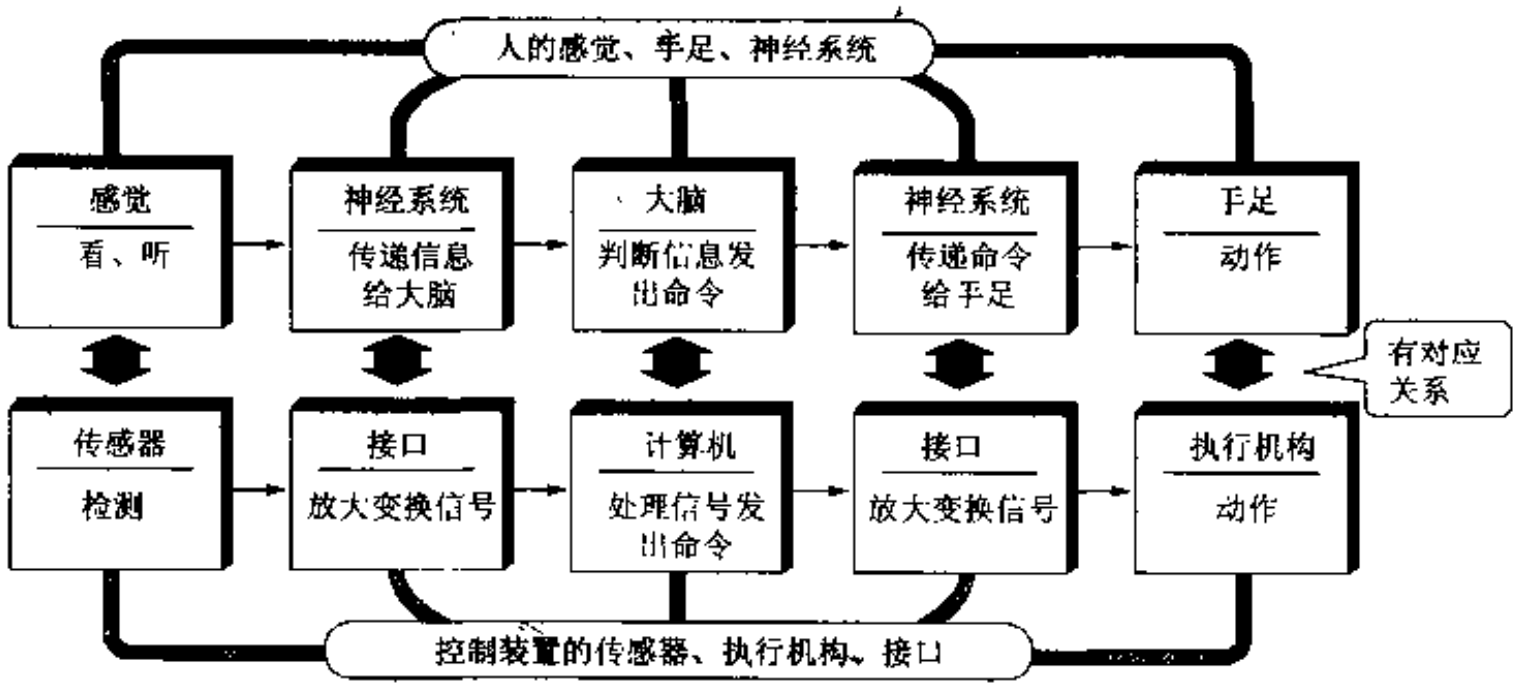


图 3　控制装置与人的对应关系

现在，工厂中很盛行 CAD/CAM（计算机辅助设计/制造）及 CIM（含制造与生产管理的系统）。这些生产系统的根本，即是传感器及执行机构，来自传感器的信息通过接口输入给计算机。

思考题

●将适当的用语填入下面句子的（　）中，使句子正确。

（1）为实现感觉功能的检测器件称为（①）。

（2）控制装置中，气缸及电动机等将电能变换为机械能的作功机器称为（②），它们被分类为（③）型、（④）型、（⑤）型。

（3）计算机、控制对象与传感器中处理的信号是不同的，因而，必须要有（⑥）。

2 光传感器与温度传感器



I 光传感器

半导体器件中，有光电二极管、光电三极管、发光二极管(LED)、CdS 等等。使用这些元器件或其组合，可以制成检测光的**光传感器**。

图 1 是光电三极管及其特性。给以一定的照度(例如 100 lx)，随着集电极电压的逐渐上升，如图中曲线所示，光电流随之增加。如图所示，照度不同，V_C-I_C 特性不同。具有这种特性的光电三极管，常用作**光的接收器件**。

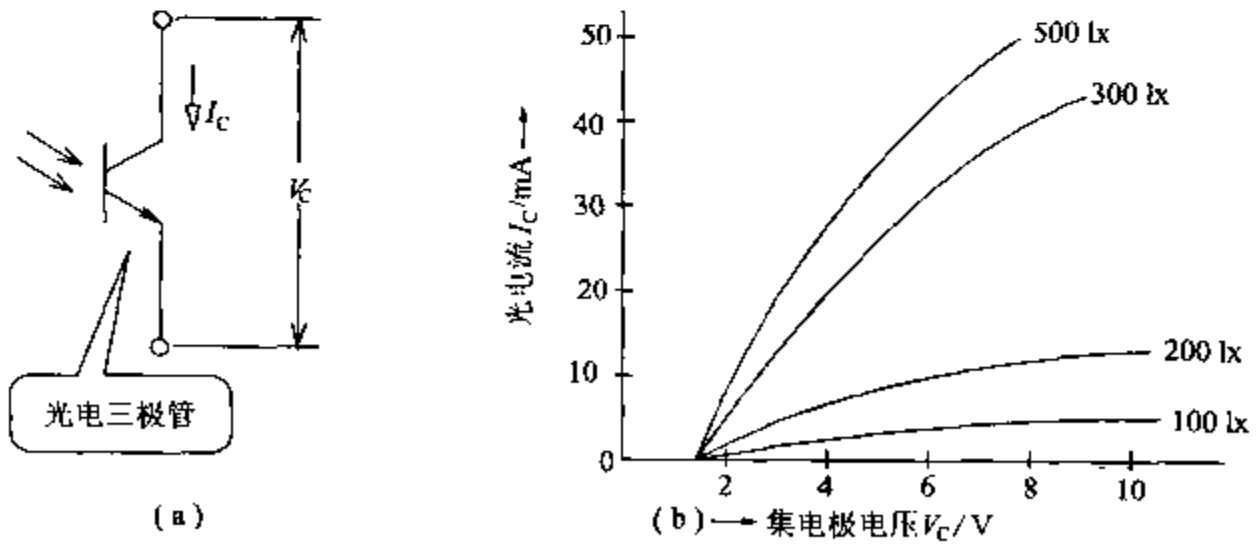


图 1　光电三极管及其特性曲线

Ⅱ　光电开关

光电开关是检测物体是否接近的装置，它由发光元件与接收元件组合而成。光电开关分为**透射型**与**反射型**两类。

图 2 为透射型光电开关。泛光灯有 LED，用来发光。发出的光由作为接收器的光电三极管接收。一旦物体靠近遮断了光，三极管即可检测出这种状态。

图 3 为反射型光电开关。物体靠近时，发光器件(LED)发出的光从物体上反射，射入光接收元件，从而可以检测出有物体靠近。

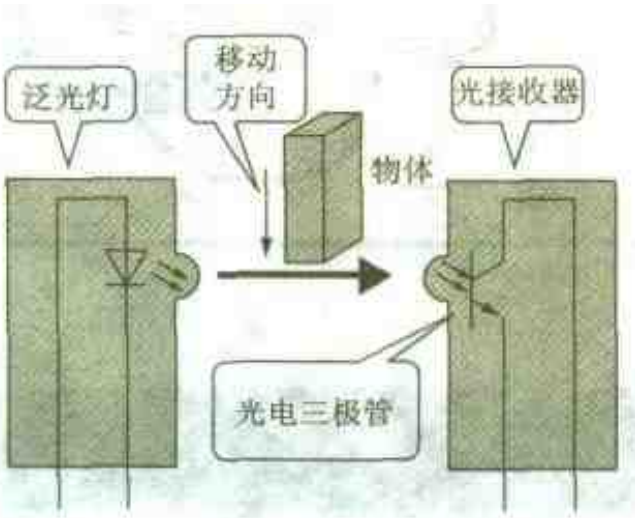


图 2　透射型光电开关

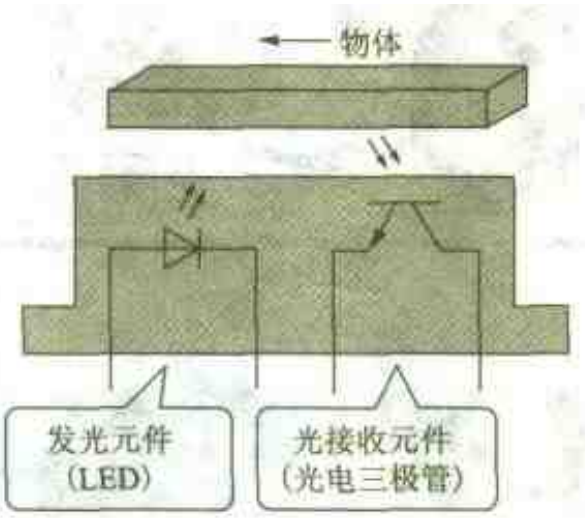


图 3　反射型光电开关

Ⅲ　物体检测电路

图 4 为应用反射型光电开关的物体检测电路的实例。

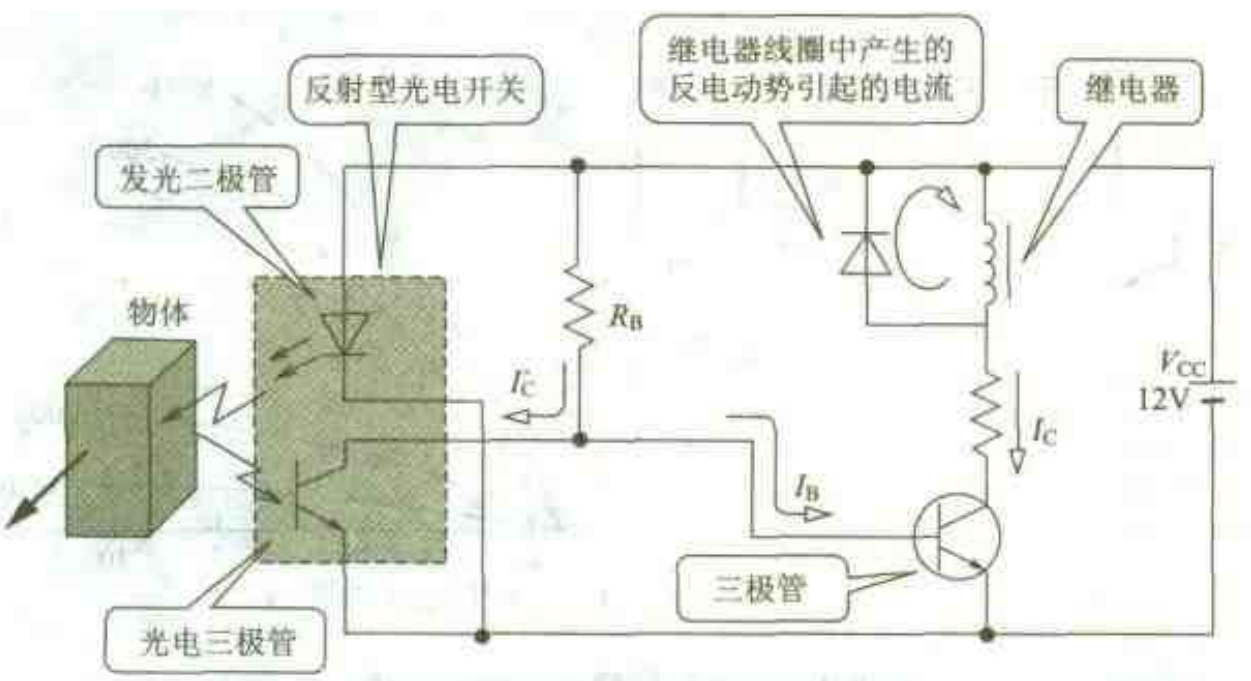


图 4　应用光电开关的物体检测电路

没有物体时，通过 R_B 的电流作为 I_B 流入三极管的基极，流过集电极的电流 $I_C = h_{FE} I_B$，继电器动作。有物体通过时，流过 R_B 的电流作为 I_C' 流入光电三极管，三极管的基极电压随之变得极低，因而三极管截止，继电器不动作。

如此，随着有无物体通过，可使继电器动作或不动作。

Ⅳ　温度传感器

检测温度的传感器称为**温度传感器**。温度传感器有已经学习过的热敏电阻及热电偶。这里介绍测温电阻。

图 5 为铂丝制成的电阻即铂测温电阻的温度特性。如图所示，该特性呈直线变化。图中的 R_0 是 0℃时的电阻，R_t 是温度为 t(℃)时的电阻。

图 6 给出了用铂(或镍)测温电阻测量温度的例子。

测温电阻的电阻值随温度的变化并不非常大，因而如图所示，将其接入惠斯登电桥，将温度的变化变为电压的变化。再将该电压放大去推动温度计的指针，以实现温度的测量。

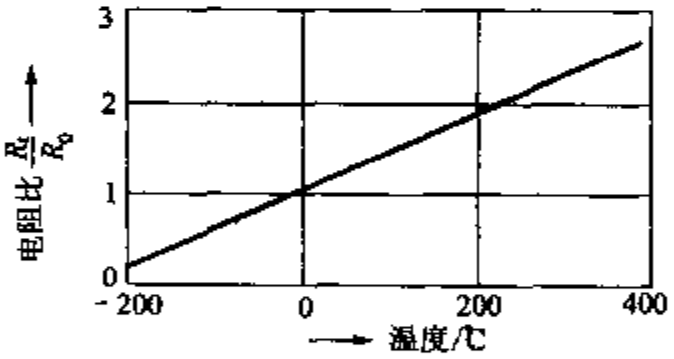


图 5　铂测温电阻的温度特性

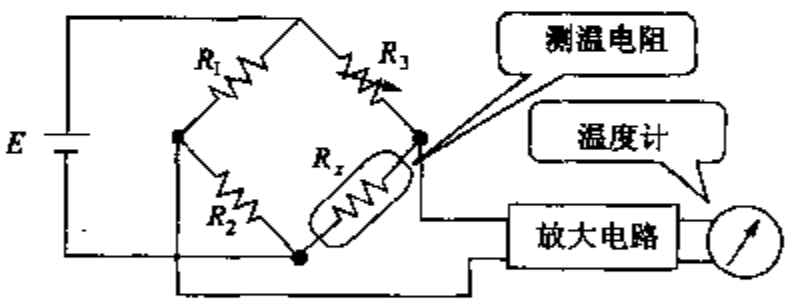


图 6　用测温电阻测量温度

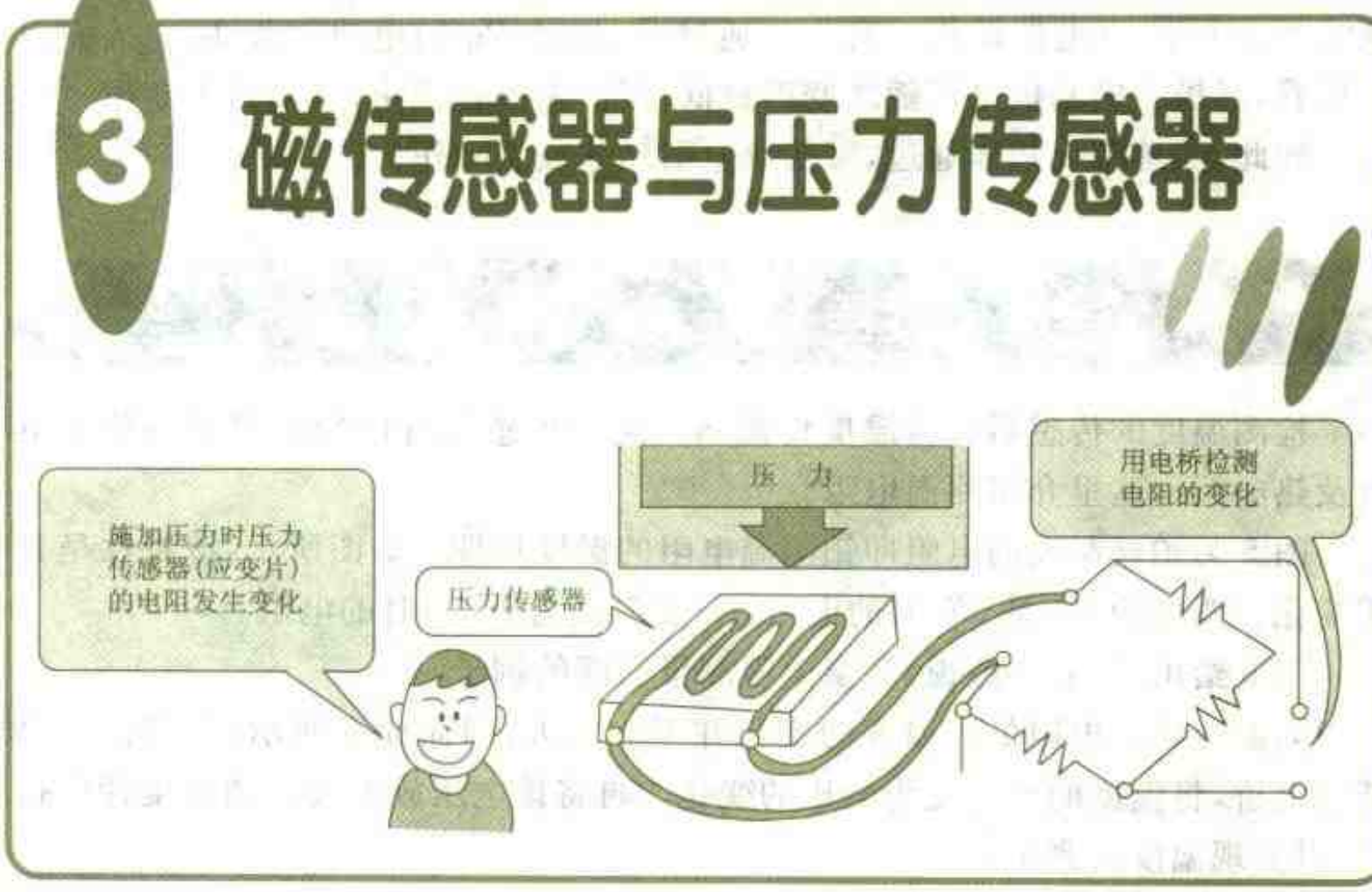
思考题

●将适当的用语填入下面句子的(　)中，使句子正确。

(1) 光电开关可分类为(①)和(②)。无论哪一类型都要有(③)元件和(④)元件。

(2) 应用铂测温电阻测量温度的电路中，要有(⑤)和(⑥)。

3 磁传感器与压力传感器



Ⅰ 磁传感器

检测磁的传感器称为**磁传感器**。磁传感器的典型元件，有已经学过的霍尔元件。图 1 为霍尔元件的工作原理图。

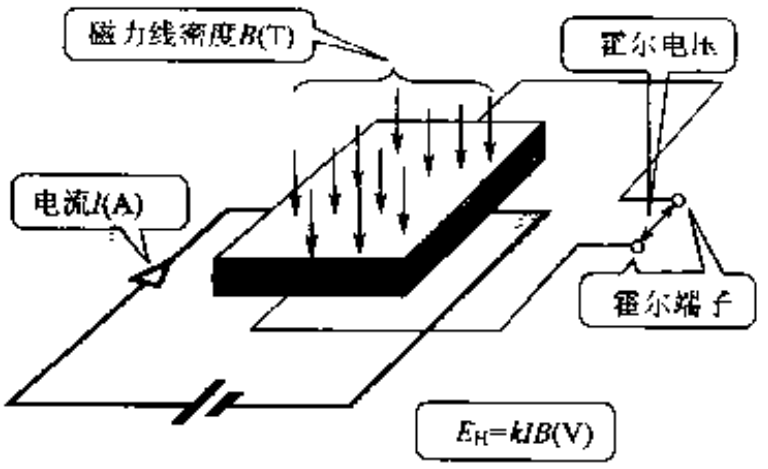


图 1　作为磁传感器的霍尔元件

给半导体通以电流 I(A)，在垂直于此电流的方向上施加磁力线密度为 B(T)的磁场，则在同时垂直于电流和磁场两者的方向上会产生电动势 E_H(V)。

这种现象称为**霍尔效应**，利用此效应可以制作磁传感器。

Ⅱ 舌簧开关

如图 2 所示，舌簧开关的构造为将磁性材料制成的簧片封入细长的玻璃管中。

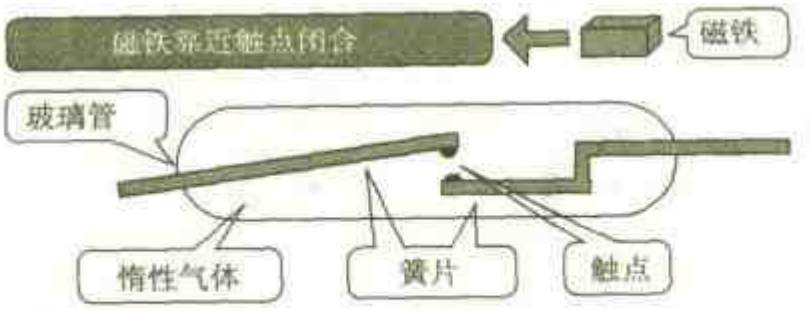


图 2　舌簧开关

有磁铁靠近时，簧片被磁化，簧片头部的触点也被磁化。因而，触点闭合。但是触点开闭时，触点间会稍有放电而使触点氧化。为防止此氧化，玻璃管内充入惰性气体（如氮气、氩气）。

磁铁远离时，由于簧片的弹性，回路断开。这种舌簧开关，外部无磁场时，触点断开（开），外部有磁场时，触点闭合，因而称为**常开型舌簧开关**。

与此相反，外部无磁场时触点闭合（关），外部有磁场时触点断开的开关称为**常闭型舌簧开关**。

舌簧开关的特点归纳如下：

① 触点置于玻璃管中，与外部隔离，因而动作稳定；② 轻小而价格便宜；③ 动作速度快；④ 重复使用精度也好；⑤ 耐电压性能好；⑥ 寿命长。

Ⅲ　压力传感器

图 3 是**应变计型压力传感器**的例子。应变计亦称为**变形计**。

设给金属丝加力拉伸时，其长度由 l 变为 $l+\Delta l$，截面积则由 A 减小为 $A-\Delta A$。此时，长度的增加率称为应变，用下式表示：

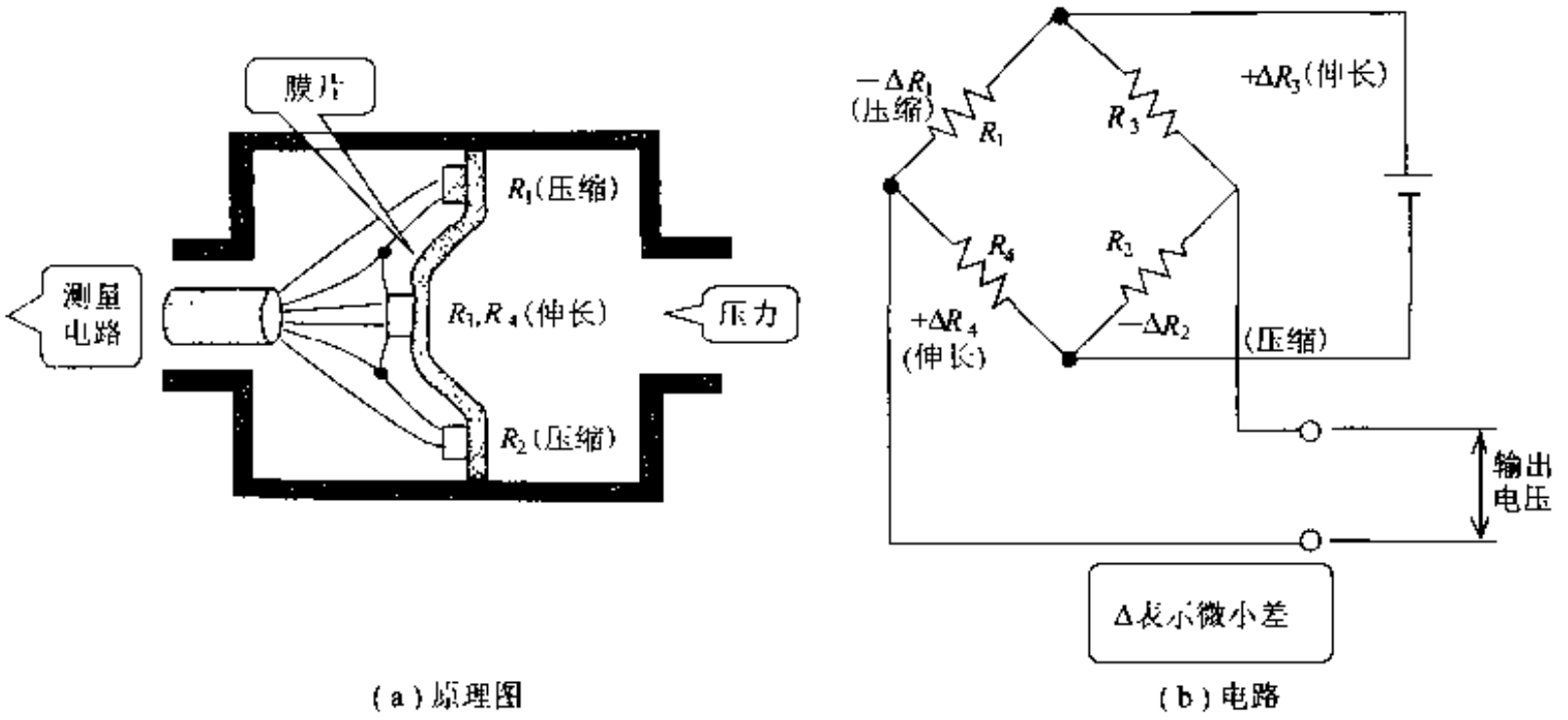
$$应变=\Delta l/l$$

图 3(a)中，施加压力时，贴有电阻应变片的膜片发生变形，因而引起电阻应变片伸缩。其中，电阻 R_1 和 R_2 受压缩，阻值变化为 $-\Delta R_1$ 和 $-\Delta R_2$，电阻 R_3 和 R_4 伸长，阻值变化为 $+\Delta R_3$ 和 $+\Delta R_4$。利用图 3(b)的桥路进行检测，结果以电压形式输出。

设加压造成的电阻值的增加为 ΔR，ΔR 与原电阻 R 的比称为检测率，用 K 表示为

$$K=\Delta R/R$$

作为应变计的必要条件是：相对于变形电阻的变化率要大、温度变化对电阻的影响不大，不易生锈等等。



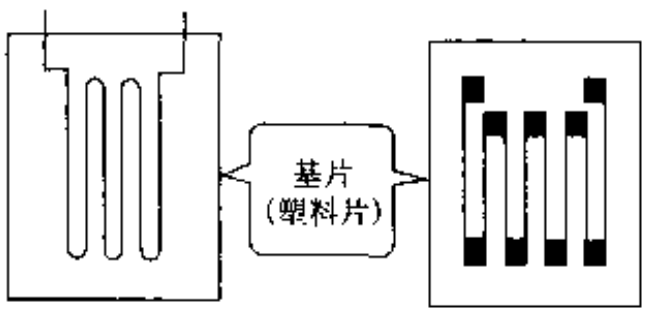
(a)原理图　　(b)电路

图 3　应变计型压力传感器

Ⅳ　应变计

如图 4 所示，应变计有线型与箔型之分。线型是在基片上贴的细金属丝，而箔型是在基片上贴的箔状电阻。

这种电阻的材料，常使用镍铬合金。此应变计的检测率 K 约为 2。



(a)线型　　(b)箔型

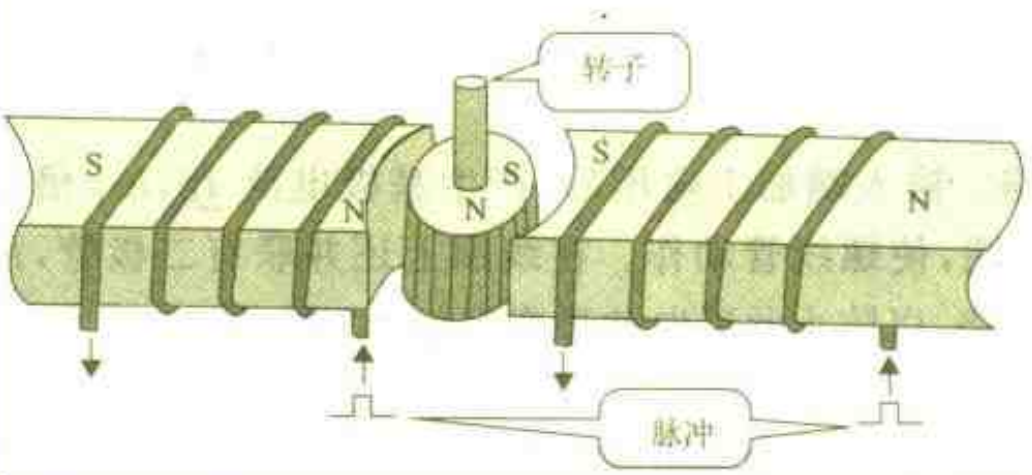
图 4　应变计

思考题

● 将适当的用语填入下面句子的(　)中，使句子正确。

霍尔元件，是(①)传感器，舌簧开关有(②)和(③)两类。检测率 K 用(④)表示，金属应变计的检测率约为(⑤)。

4 电磁螺线管与步进电机





Ⅰ 电磁铁的原理

图 1 表示电磁铁的原理。如图 1 所示，线圈绕在铁芯上，给线圈通以电流，铁芯即被磁化，即可吸引衔铁。衔铁用强磁性材料制作。线圈中无电流流过时，由于复位弹簧的作用衔铁会回到原来位置。这种原理的电磁铁，可用来制作继电器及电磁螺线管。

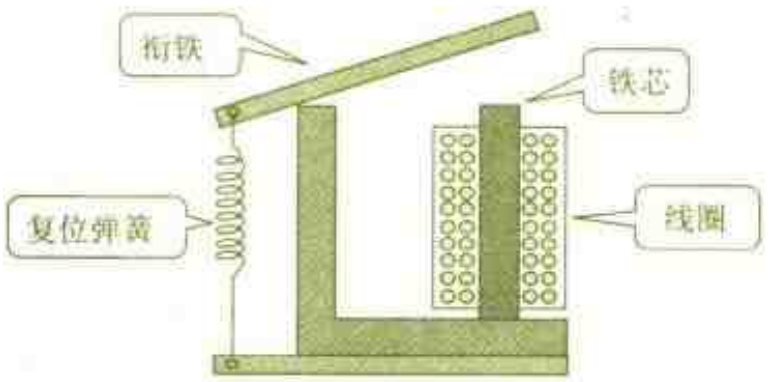


图 1　电磁铁的原理

Ⅱ 电磁螺线管的原理

利用电磁铁的原理，将吸引衔铁或铁片的机械运动用于各种操作的装置，称为**电磁螺线管**或简称**螺线管**。

图 2 为电磁螺线管的原理图。电流流过线圈时，线圈架中的强磁体被吸入架子的中心部。其结果，在左端部产生拉力，而在右端部则产生压力。利用拉力者称为**拉型**，利用压力者则称为**推型**。两者都利用的也有，称之为**两用型**。

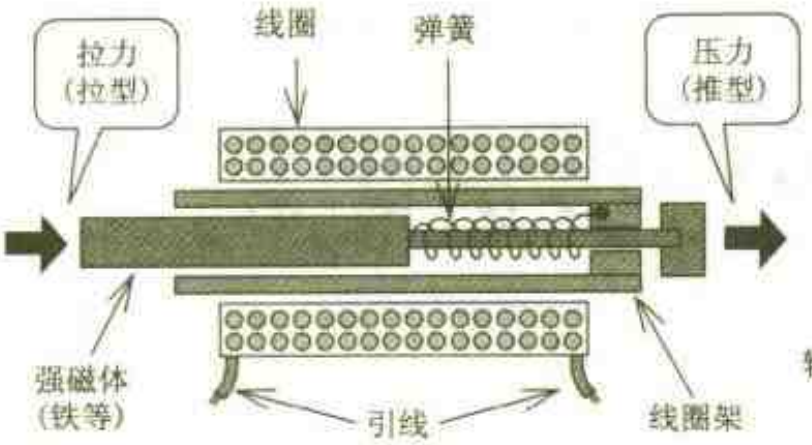


图 2　电磁螺线管的原理

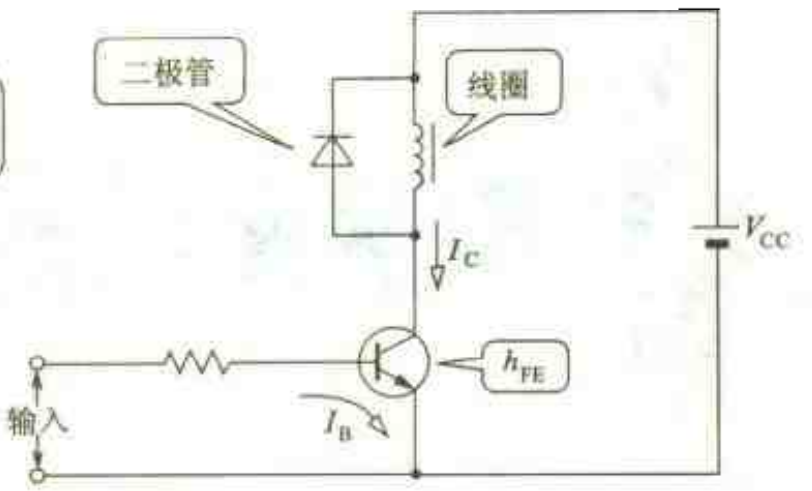


图 3　螺线管驱动电路

图 3 是螺线管驱动电路。输入端加上电压后，产生基极电流 I_B，h_{FE} 倍于 I_B 的集电极电流 I_C 流经线圈，使螺线管动作。在线圈上还并联有二极管，用来吸收线圈上产生的反电动势，以防止此反电动势直接加于三极管上。

Ⅲ　步进电机的构造

图 4 示出了步进电机的构造。如图所示，位于中心称为**转子**的回转部分是永久磁铁。转子周围有称为**定子**的固定部分，定子线圈配置其上。

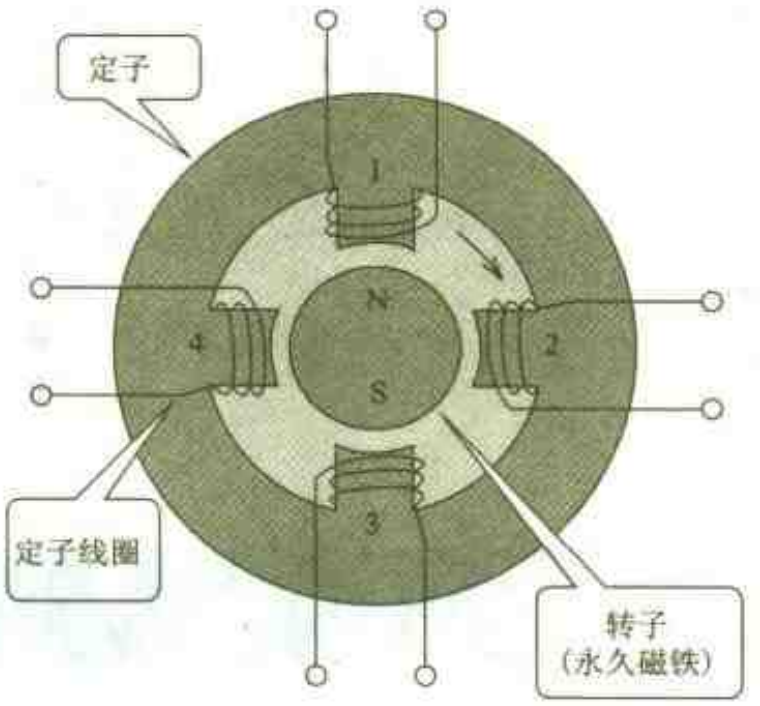


图 4　步进电机的构造

设现在的状态为转子的 N 极正对定子线圈 1，则有以下的动作：

① 电流一流过线圈 2，受 2 号磁极吸引，转子顺时针转 90°；

② 线圈 2 断电，电流一流过线圈 3，受 3 号磁极吸引，转子继续旋转；

③ 同样，顺序给线圈供电，转子沿 4→1→2→3 的方向旋转。

以上说明中虽然讲的是“电流一流过线圈”，但实际上加的是脉冲状的电流。一个脉冲使得回转一定角度的电动机称为**步进电机**。

一个脉冲所旋转的角度称为**步距角**。例如，给步距角为 1.8°的步进电机加 200 个脉冲，如下式所示，转子旋转一圈。

$$1.8^\circ \times 200 = 360^\circ$$

Ⅳ　步进电机的电路构成

图 5 示出了步进电机的电路构成。其中的控制电路用以控制电机的回转方向及回转速度，脉冲发生电路产生按照来自控制电路的控制信号顺序分配给各线圈的脉冲。

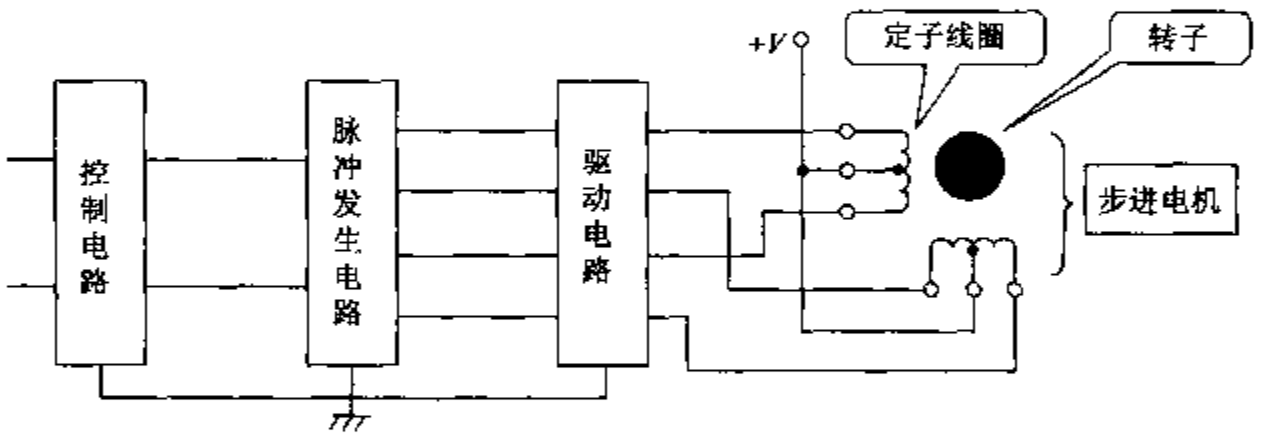


图 5　步进电机的电路构成

驱动电路对脉冲幅度进行放大以供给线圈充分的电流，使脉冲电流流过各线圈。

思考题

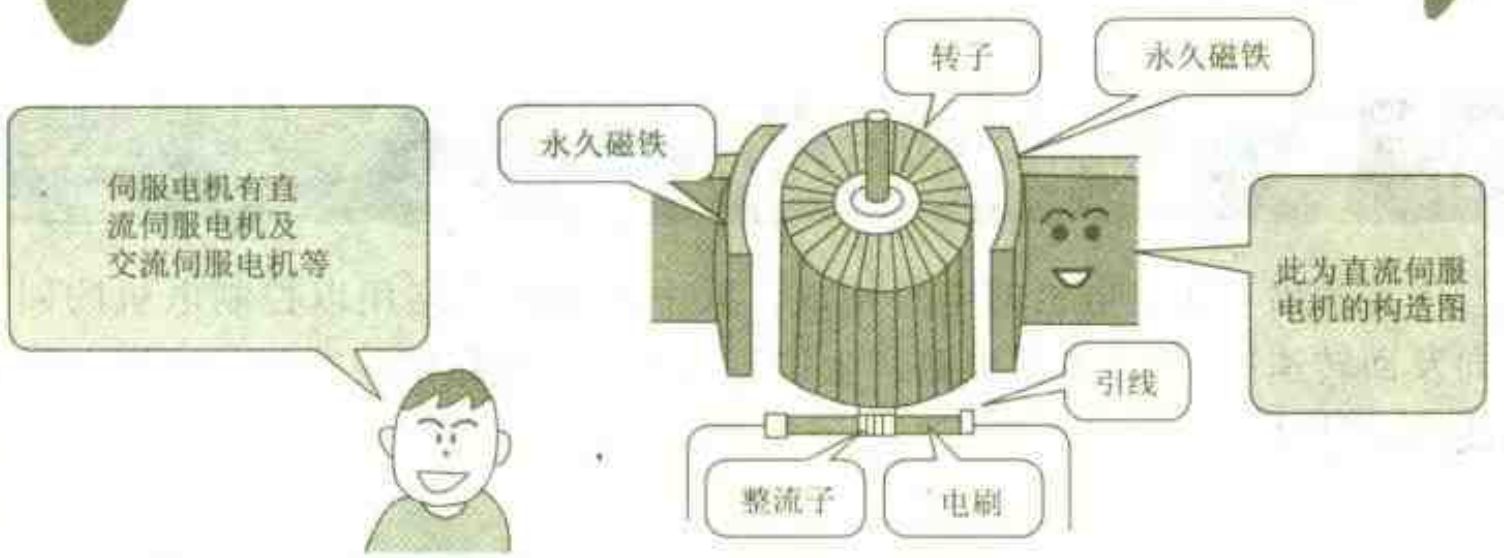
1. 将适当的用语填入下面句子的(　)中，使句子正确。

(1) 电磁螺线管分为(①)型、(②)型、(③)型。

(2) 一个脉冲使得旋转一定角度的电机称为(④)。

2. 给步距角 1.8°的步进电机加 80 个脉冲时，求电机的旋转角度。

5 伺服电机及其应用



Ⅰ 伺服电机

反馈控制旋转速度及机械位置，称为**伺服控制**。所谓反馈控制，是指将控制量与目标值比较，自动地调节控制量的控制。用于伺服控制的电动机称为**伺服电机**。

直流电动机用作伺服电机的称为**直流伺服电机**，交流电动机用作伺服电机的称为**交流伺服电机**。

两者的特点如表1所示。

表1

直流伺服电机	交流伺服电机
①控制装置简单	①故障少
②正转反转简单	②可耐一定程度过载
③速度控制容易	③价格便宜

Ⅱ 直流伺服电机的速度控制

为了对直流伺服电机的速度进行控制，需将**速度发生器**安装于电机上。速度发生器亦称**测速发电机**，它是发电机的一种，用于进行速度检测。

图1为直流伺服电机速度控制电路的构成例。测速发电机安装于伺服电机上，产生正比于电机转速的直流电压。

基准产生与所需转速相对应的设定电压，比较器用来对此设定电压与测速发电机的直流输出电压进行比较。电机驱动电路的任务则是将比较器输出的

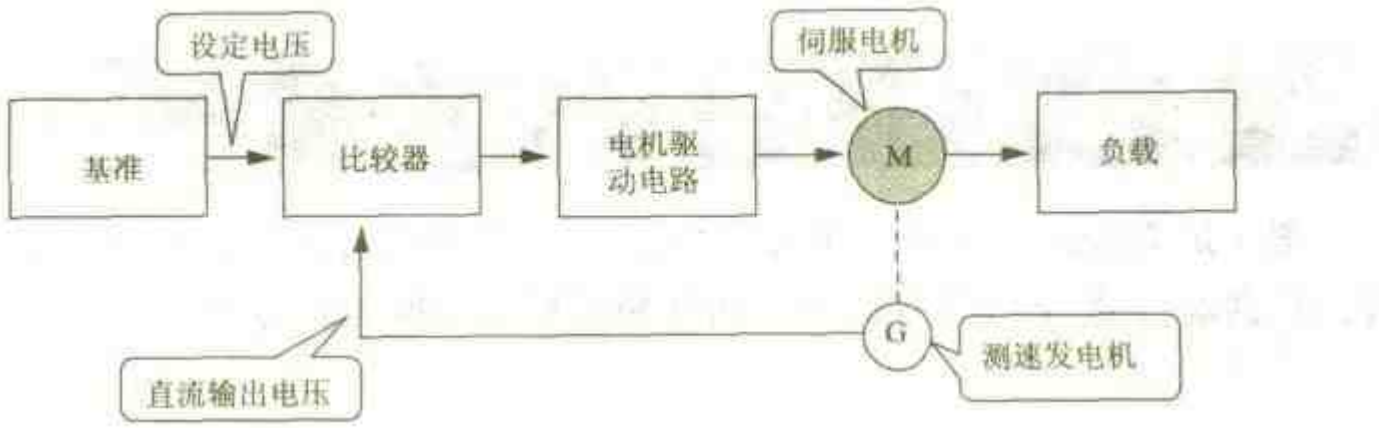


图 1　直流伺服电机速度控制电路

电压送给电机。

现在，假设由于某种原因使得电机的转速降低，则测速发电机的输出电压也会降低→与基准设定电压之差增大→加于伺服电机的电压增大→电机转速得以提高。这是为了使测速发电机的输出电压与基准设定电压趋于相等，伺服电机则以一定的转速旋转。转速的高低可按基准设定电压变化。

直流伺服电机的转速为 1000r/min(每分钟转数)时，测速发电机可产生数伏至数十伏程度的直流电压。

Ⅲ. 定位控制

图 2 为直流伺服电机定位控制的构成例。如果根据输入分压器 R_1 设定目标值，那么电压加在直流放大器的输入上，放大后的电压使直流伺服电机旋转。

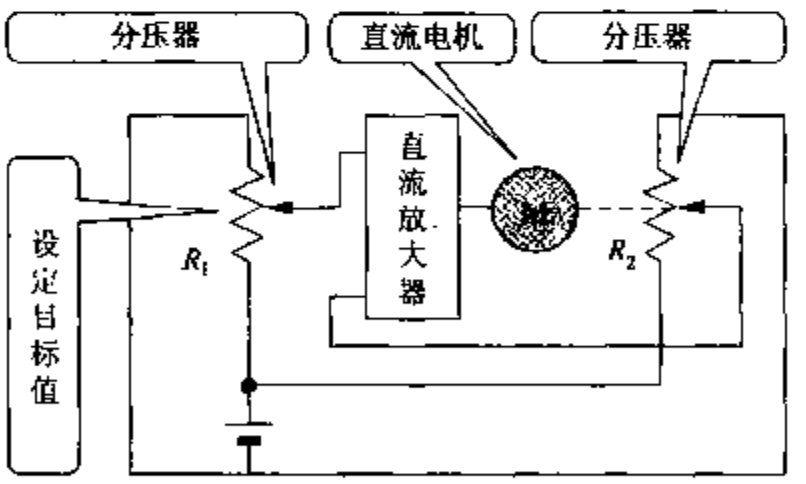


图 2　直流电机定位控制

电机旋转后，来自输出分压器 R_2 的输出电压即被反馈到直流放大器的输入端。反馈值与设定的目标值比较，电机回转直至其差为 0 时停止。这样一来，即可求得正比于输入设定电压的记录。这就是自动记录针的动作原理。

Ⅳ　旋转编码器

图 3 是旋转编码器的原理图。发光二极管的光，通过透光缝射向光电三极管。极据通过缝 A 与缝 B 所产生的脉冲信号可以检测旋转方向。



图 3　旋转编码器

图 4 为内部装有旋转编码器的伺服电机的构成例。将指示旋转角度的指令脉冲输入到比较电路后电机即开始旋转。来自旋转编码器 R 的脉冲与指令脉冲在比较电路中比较，直至其差为 0，电机停止旋转。从而得到所希望的旋转角度。比较电路亦称偏差计数器，这种伺服电机有时称为旋转编码器内置型伺服电机。

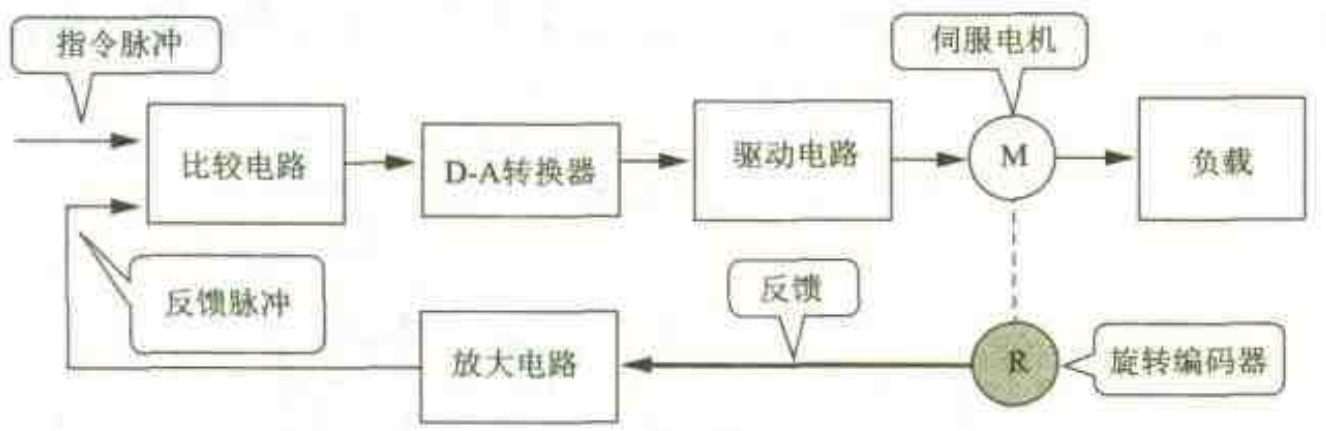
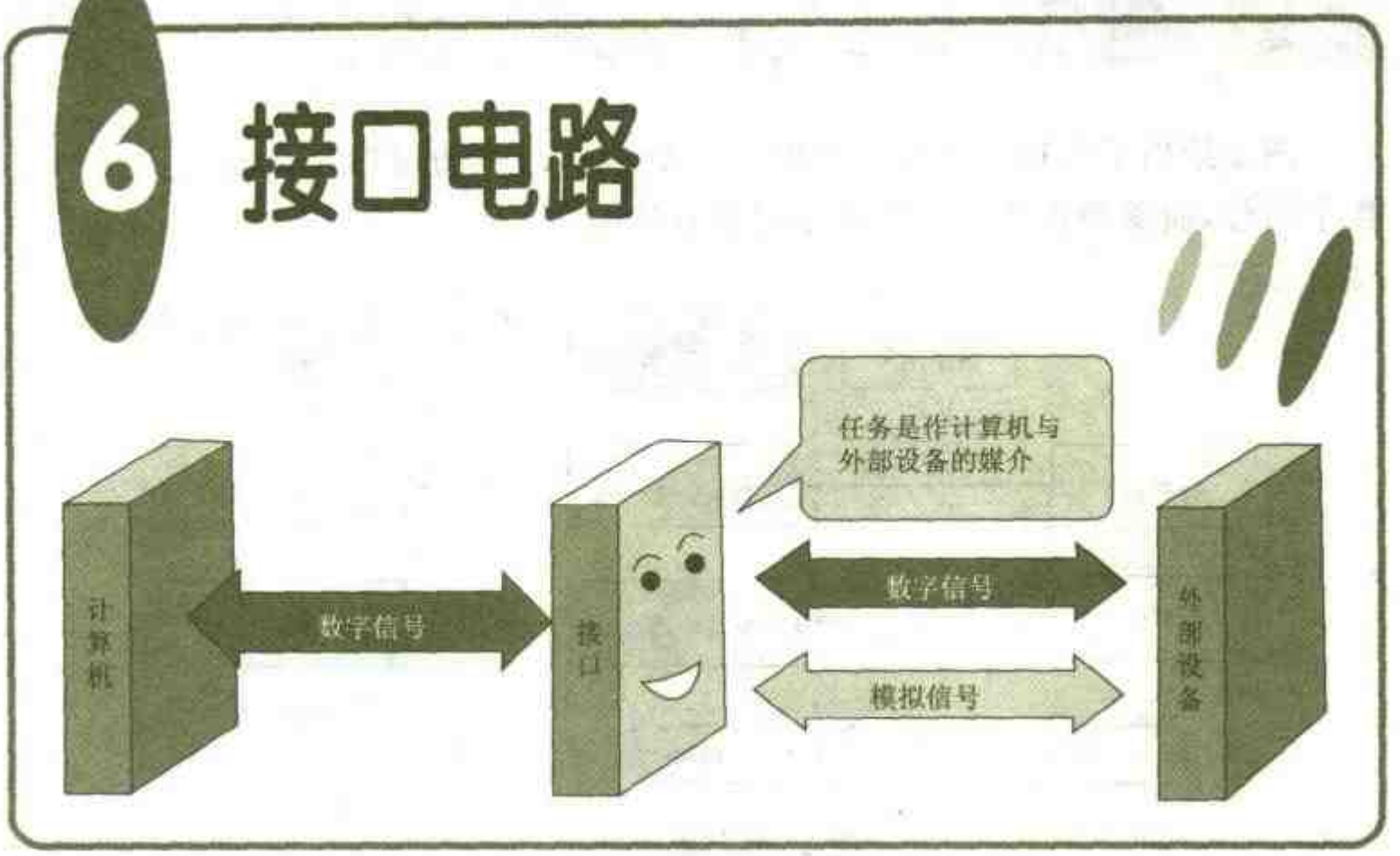


图 4　带有旋转编码器的伺服电机

思考题

1. 试述直流伺服电机的特点。
2. 进行直流伺服电机速度控制时，电机的转速用什么检测？
3. 试述旋转编码器中所用的发光元件与接收元件的名称。

6 接口电路



I 接 口

接口是指介于两个以上的装置之间用于帮助信号传送的装置。图 1 示出了接口的作用。

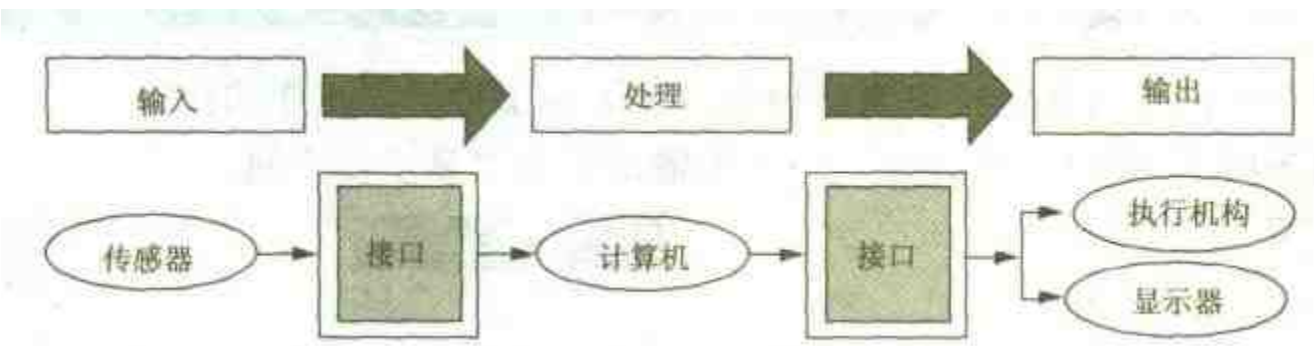


图 1 接口的作用

从传感器得到的信号，原封不动地输入给计算机是不行的。还有，经过计算机处理过的输出信号，原封不动地输入到执行机构或数字显示器也得不到正确的动作。因而，要在传感器和计算机之间、计算机和输出装置之间设置接口，以期得到所希望的信号。

Ⅱ　执行机构的接口

图 2 给出了为执行机构动作所必需的接口任务的框图。计算机输出的是数字信号，而驱动直流伺服电机则需要直流电压。

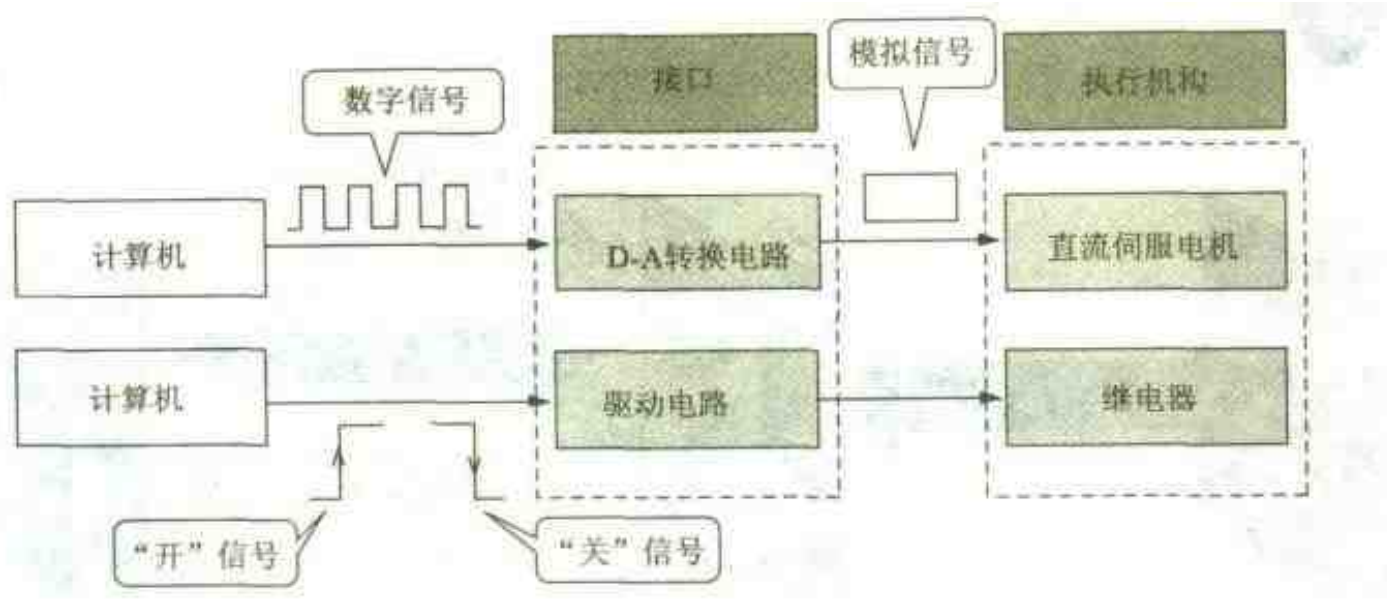


图 2　执行机构的接口

因而出现了将数字信号变为模拟信号的 D-A 转换电路。

还有，要按计算机指令驱动继电器，还必须要有以计算机输出信号为基础的继电器驱动电路。此驱动电路以及 D-A 转换电路都是接口。例如，计算机（微机）的输出电压为 5V，将其变为驱动外设所必需的电压也是接口的任务。

Ⅲ　数字显示器的接口

图 3 示出了为使 7 段发光二极管（LED）数字显示器工作的接口。

如图所示，接口接在计算机与作为输出装置的显示器之间。

二进制数	十进制数
0 0 0 0	0
0 0 0 1	1
0 0 1 0	2
0 0 1 1	3
0 1 0 0	4
0 1 0 1	5
0 1 1 0	6
0 1 1 1	7
1 0 0 0	8
1 0 0 1	9

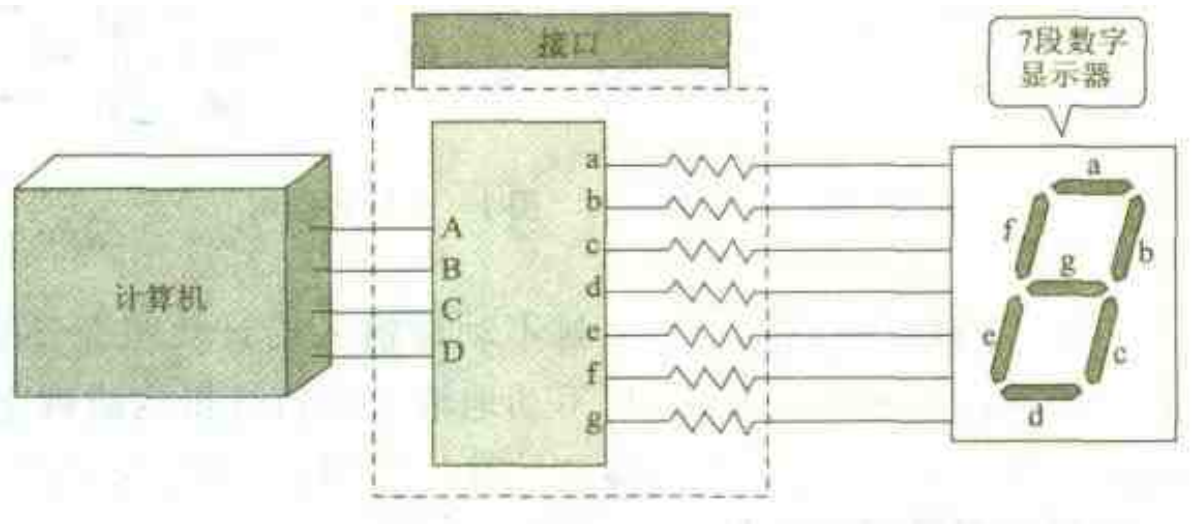


图 3　数字显示器的接口

计算机输出的 4 位二进制数，要用与二进制数 0000～1001 相对应的十进制数 0～9 来表示。

这种将计算机输出的数字信号变成数字显示器（作为执行机构）的驱动信号的装置即是接口。

Ⅳ 输入端接口

机械的触点在通和断时，触点间会在反复多次开闭后，开关才呈现开或闭的状态。这种触点反复开闭的现象称为**抖动**。此抖动会成为计算机测量与控制中产生误动作的根源，因此必须要去除。

图 4 所示的是用限位开关来检测工作物靠近的工作状态。由于限位开关是机械触点，就会产生抖动。因此用电阻 R_1，R_2 及电容 C 接成图示电路，即构成消除抖动电路。

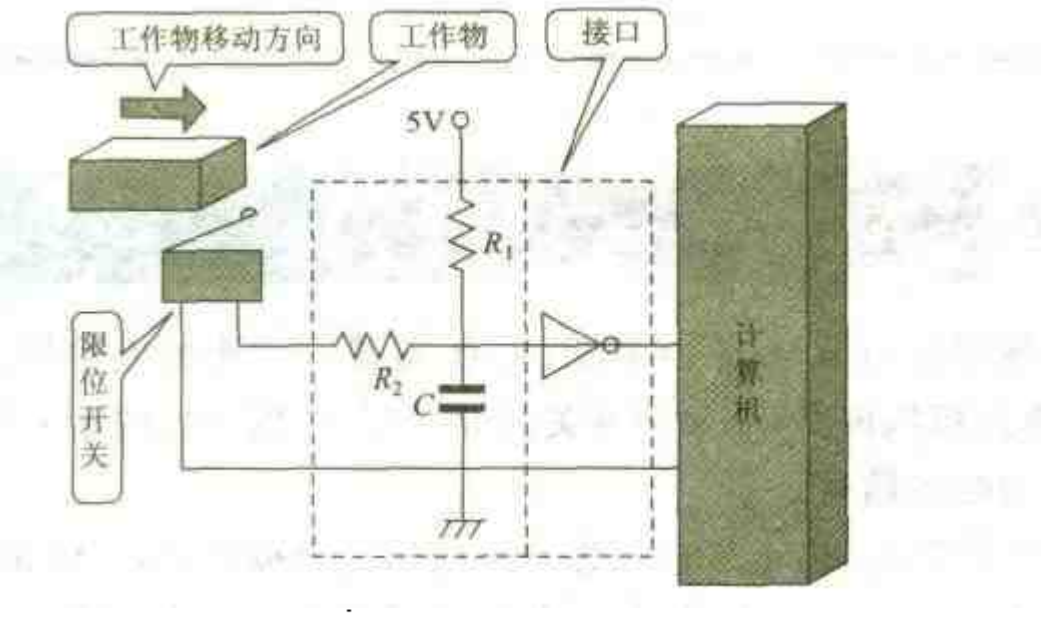
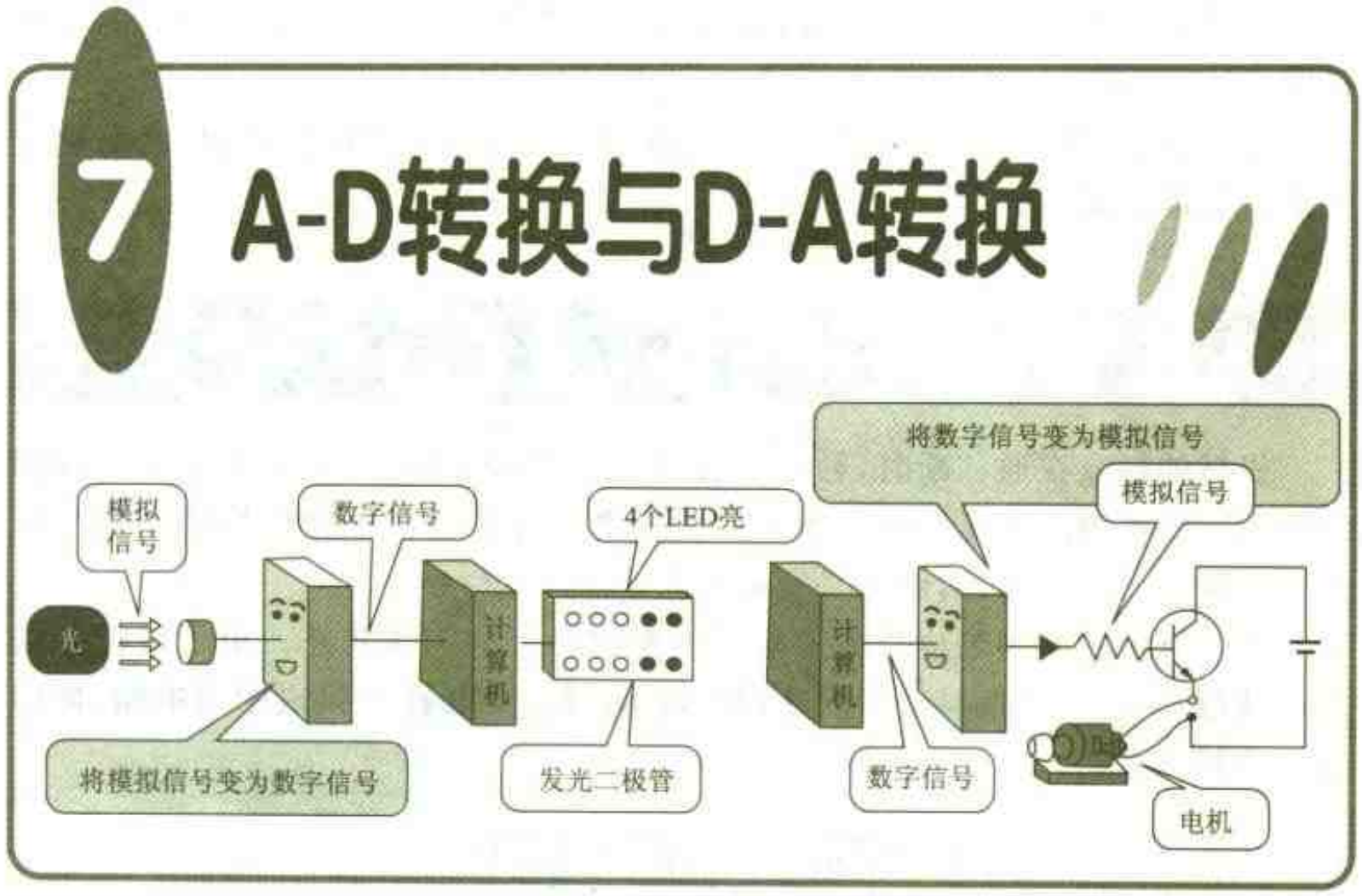


图 4 消除抖动电路

图 4 中的非门是为了开关断开时给计算机的输入为 0，而开关闭合时输入为 1。所构成的接口包含非门电路在内。

思考题

1. 试述传感器与计算机、计算机与执行机构间所接的电路的名称。
2. 机械触点反复开闭的现象称为什么？



I　A-D 转换

传感器得到的信号，是由温度、压力、亮度等变来的电信号。将连续变化的电信号，称为**模拟信号**；而如同开关的开闭那样，以一定的量为单位阶梯变化的信号则称为**数字信号**。

计算机控制时，由于来自传感器的信号为模拟信号，无法推动计算机工作。因而必须要有将模拟信号变为数字信号的装置。此装置称为 **A-D**(analog-to-digital)**转换器**。图 1 所示的是输入 A-D 转换器的模拟信号转换成二进制数字信号的示意图。

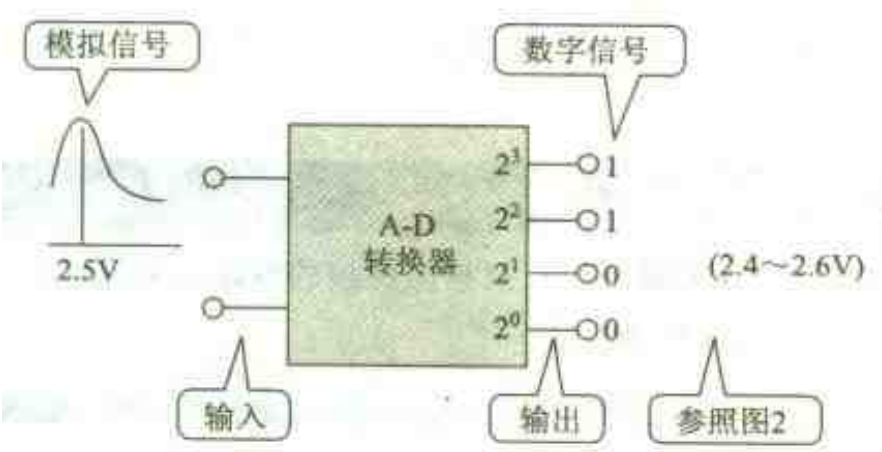


图 1　A-D 转换的方案

Ⅱ A-D 转换例

图 2 给出了 A-D 转换的例子。在这里考虑一下模拟信号在 0～3V 范围内变化时将其变为 4 位数字信号的转换。4 位二进制数的范围是 0000～1111，相应于十进制数的 0～15。因而用 15 去除 3V 得 0.2V。因此，如图 2 所示，每过 0.2V 变一个数字量即可。例如，图 1 中模拟信号的 2.5V 在 2.4～2.6 之间，则将其变为二进制数 1100 的数字信号。由此例可以明显看出，只用 4 位变换的范围过大，因而有时有必要增加位数。A-D 转换器有种种形式，变换的位数也是 4～16 都有，这种转换器已经 IC 化。A-D 转换器多与运算放大器组合使用。

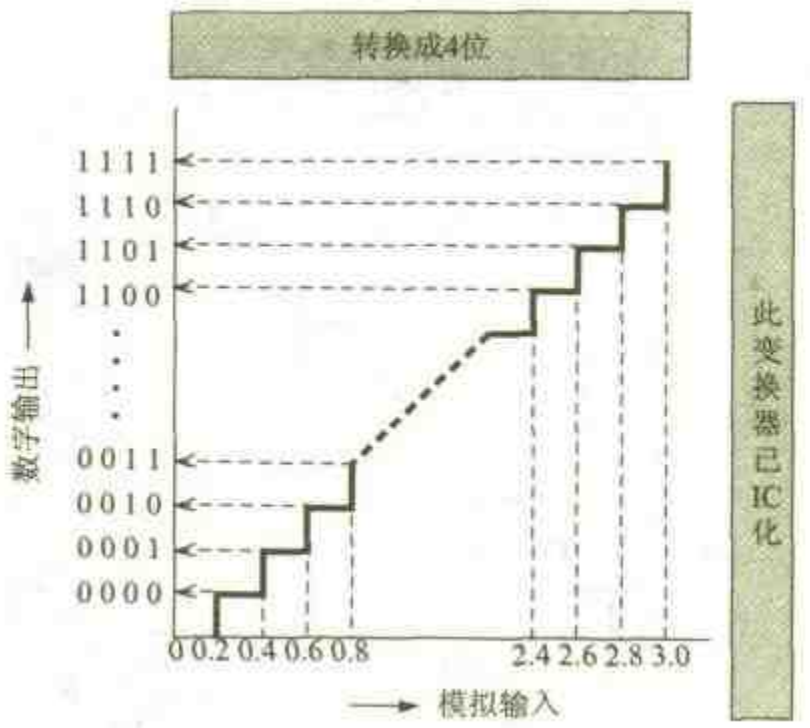


图 2 A-D 转换例

Ⅲ D-A 转换

将数字信号变换为模拟信号，称之为 **D-A 转换**，D-A 转换装置称为 **D-A 转换器**。图 3 示出了 D-A 转换的思路。即在 D-A 转换器的输入端加上相当于 2.4～2.6V 的二进制数 1100 的数字信号时，输出端要出现 2.5V的模拟信号。

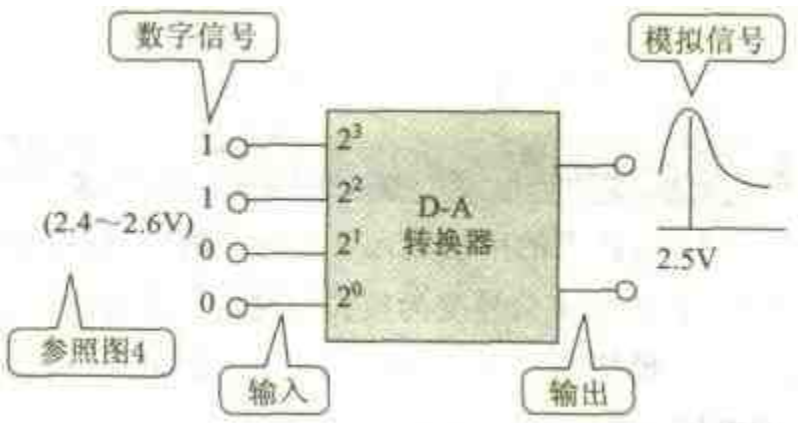


图 3 D-A 转换方案

传感器得到的模拟信号，要经 A-D 转换变为数字信号，计算机才能按此数字信号进行处理。因而，处理的结果是数字信号。此信号无法推动执行机构工作，所以要经 D-A 转换变成模拟信号，才能输入给执行机构。

Ⅳ　D-A 转换例

图 4 为 D-A 转换器的例子。下面考虑将 4 位数字信号变为 0～3V 范围内的模拟信号的转换。4 位二进制数可表示成十进制的 0～15。先来考虑按 4 位变换为 0～3V 范围的模拟信号。3V÷15＝0.2V，因而 4 位数字信号可以每隔 0.2V 变为模拟信号。即数字信号值每增加 1，变换后的模拟信号输出电压增加 0.2V。这种转换器也已 IC 化。

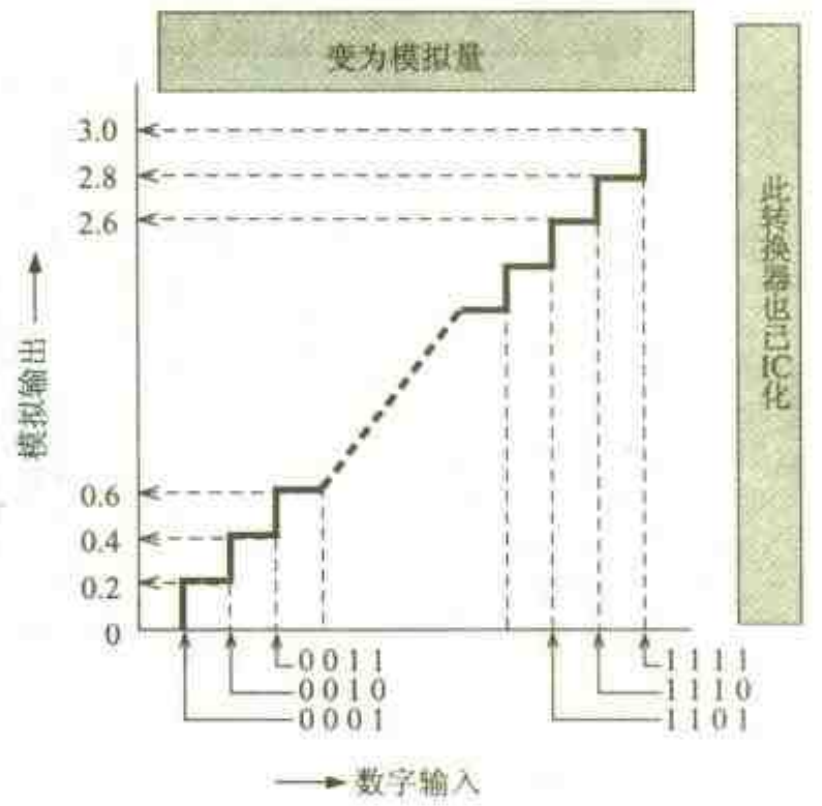


图 4　D-A 转换例

图 4 中，输入数字为 4 位的 1101 时，即十进制的 13，因而模拟输出电压 V_o 为

$$V_o=\frac{3}{15}\times 13=2.6(\mathrm{V})$$

思考题

1. 将适当的用语填入下面句子的(　)中，使句子正确：将模拟信号变为数字信号的装置称为(①)，将数字信号变为模拟信号的装置称为(②)。

2. 模拟电压在 0～5V 范围时，希望用 4 位及 8 位 A-D 转换器将其变为数字信号。求每位的电压。

Q 挑战题

阶梯电路 D-A 转换器虽已经 IC 化，但阶梯电路仍常常使用。

图 1 是梯形电路的原理图。如果图中的数字信号"*DCBA*"一旦确定，因各位均有一固定的"权"，因而输出电压 V_o(V)为

$$V_o=\left(\frac{1}{2}D+\frac{1}{4}C+\frac{1}{8}B+\frac{1}{16}A\right)(\mathrm{V})$$

$$=\frac{8D+4C+2B+A}{16}(\mathrm{V})$$

如图，设 $D=1, C=0, B=0, A=1, V=5$(V)，则输出电压 V_o 为：

$$V_o=\frac{8\times1+4\times0+2\times0+1}{16}\times5$$

$$=\frac{9}{16}\times5=2.81(\mathrm{V})$$

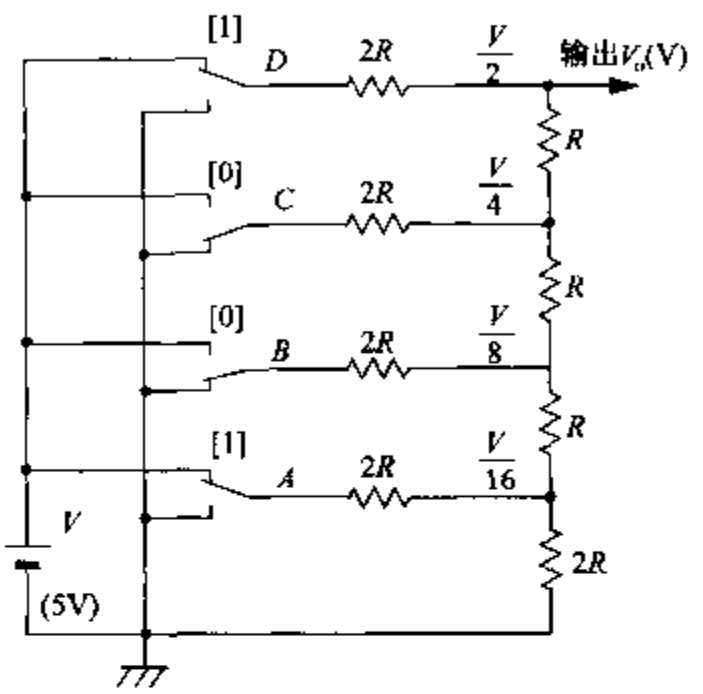


图 1 梯形电路

图 1 使用的是电阻分压电路，称之为**权电阻型 D-A 转换电路**。

之所以称为阶梯电路，是有"梯子"的意思在内，各电阻的端电压像梯子一样，按一定的值上升或说电阻的接法像梯子一样，因而得名。

思考题答案

☞ p. 4

1. ①传感器 ②执行机构 ③电气型 ④气压型 ⑤油压型 ⑥接口

☞ p. 7

1. ①透射型 ②反射型 ③发光 ④接收 ⑤放大电路 ⑥温度计

☞ p. 10

1. ①磁 ②常开型 ③常闭型 ④$\Delta R/R$ ⑤2

☞ p. 13

1. ①拉、②推、③两用 ④步进电机
2. 144°

☞ p. 16

1. 控制装置简单，正转反转简单，速度控制容易。
2. 测速发电机
3. 发光二极管、光电三极管

☞ p. 19

1. 接口
2. 抖动

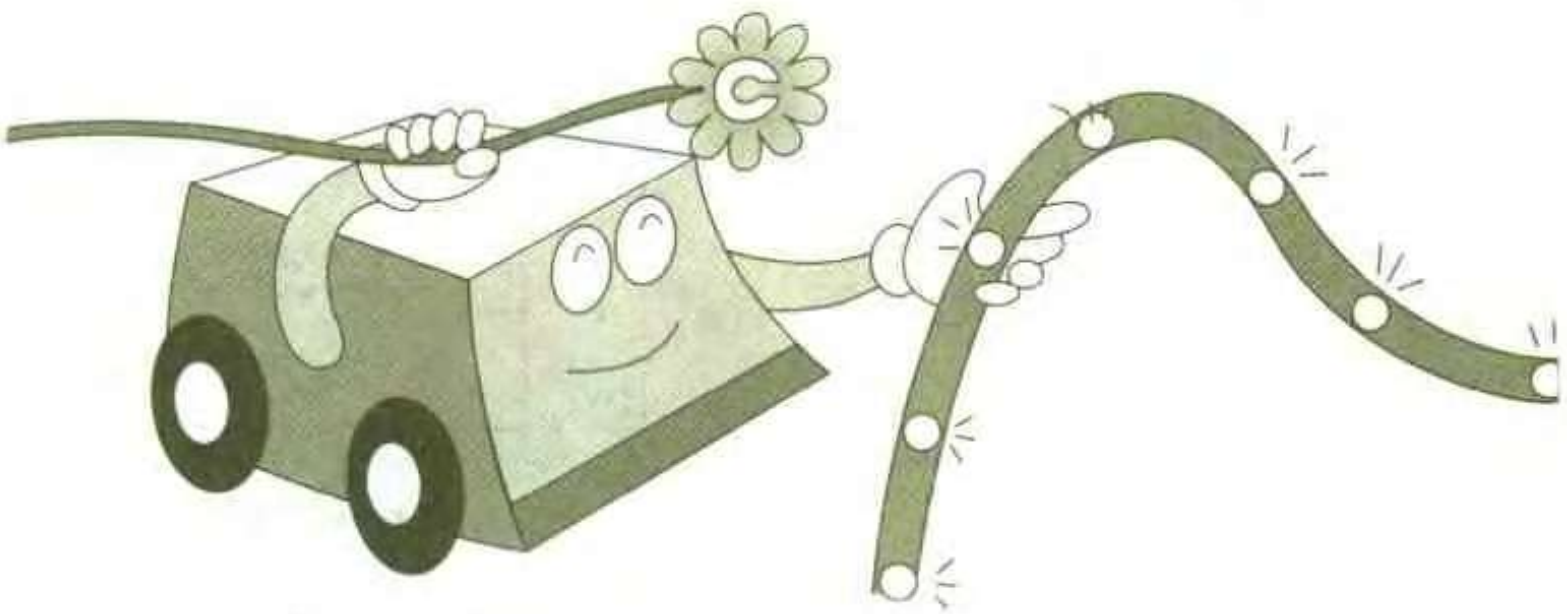
☞ p. 22

1. ①A-D 转换器 ②D-A 转换器
2. $5\div(2^4-1)=0.333(\mathrm{V})$

   $5\div(2^8-1)=0.0196(\mathrm{V})$

第2章

C语言控制入门



本章学习内容

袖珍计算机不仅具有计算及BASIC语言功能,还有种种功能。本章通过用C语言编制简单控制程序能体验学习C语言的乐趣。本章将具体讲解:

1 LED的闪烁控制

2 LED闪烁速度的调整与音阶

3 LED闪烁的减速

1 LED的闪烁控制

使用袖珍计算机进行控制时，必须要有将来自袖珍计算机的控制信号传向外部及将数字信号传向袖珍计算机的接口。这里使用采用 PPI-82C55 IC 的接口“宽宽”。“宽宽”是接口板的爱称。在电路控制板上，将 24 个 LED 排成一个圆圈，恰如轮盘赌那样的外形。

闪烁的同时还要产生音阶，因而准备了 8 个按键开关和两个拨钮开关，是一块通过仔细编程能够获得种种体验的控制板。此控制板的爱称为“圆圆”。

“宽宽”和“圆圆”是日本 YOUPIT 电子公司开发的商品。“宽宽”和“圆圆”的关系详细编辑收录在录像带上出售。看着录像进行学习，能够在短时间内获得更好的 C 语言学习效果。

I “圆圆”和“宽宽”的自我介绍

初次见面，我叫“圆圆”。由于一圈一圈地转，有了“圆圆”这个名字。实际上我并不转，只是排成转盘状的 24 个 LED 顺序闪烁而已。但是，大家都叫我“圆圆！圆圆！”，这样不知不觉中就有了“圆圆”这个名字。我也不怎么生气，叫这个名字挺好。

我靠着与袖珍计算机和接口联接而工作。我会忠实地按照袖珍计算机编制的程序工作[1)]。

为使用 C 语言初始编制控制程序的人着想，作为初等生的“圆圆”，先将 8 个 LED 排成一排。

1) “宽宽”是作为接口的爱称而使用。所谓“宽宽”指的是装有一片 PPI-82C55 芯片的袖珍计算机接口。

Ⅱ 我的外观与袖珍计算机的外设

构成"圆圆"的有：呈轮盘状排列的24个LED、处理这些LED输出信号的5个锁存IC芯片及4个晶体管列阵(图1)。

还有一排8个LED及与其并排的8个按钮。这些按钮是输入装置。按下此按钮开关，LED会发光、喇叭会发出声音。

图中两只拨钮开关作为输入开关，用于选择输入，可有6种输入；有两只输入缓冲器IC。

有关接口的更详细的情况以及袖珍计算机的信号关系，在下节说明。

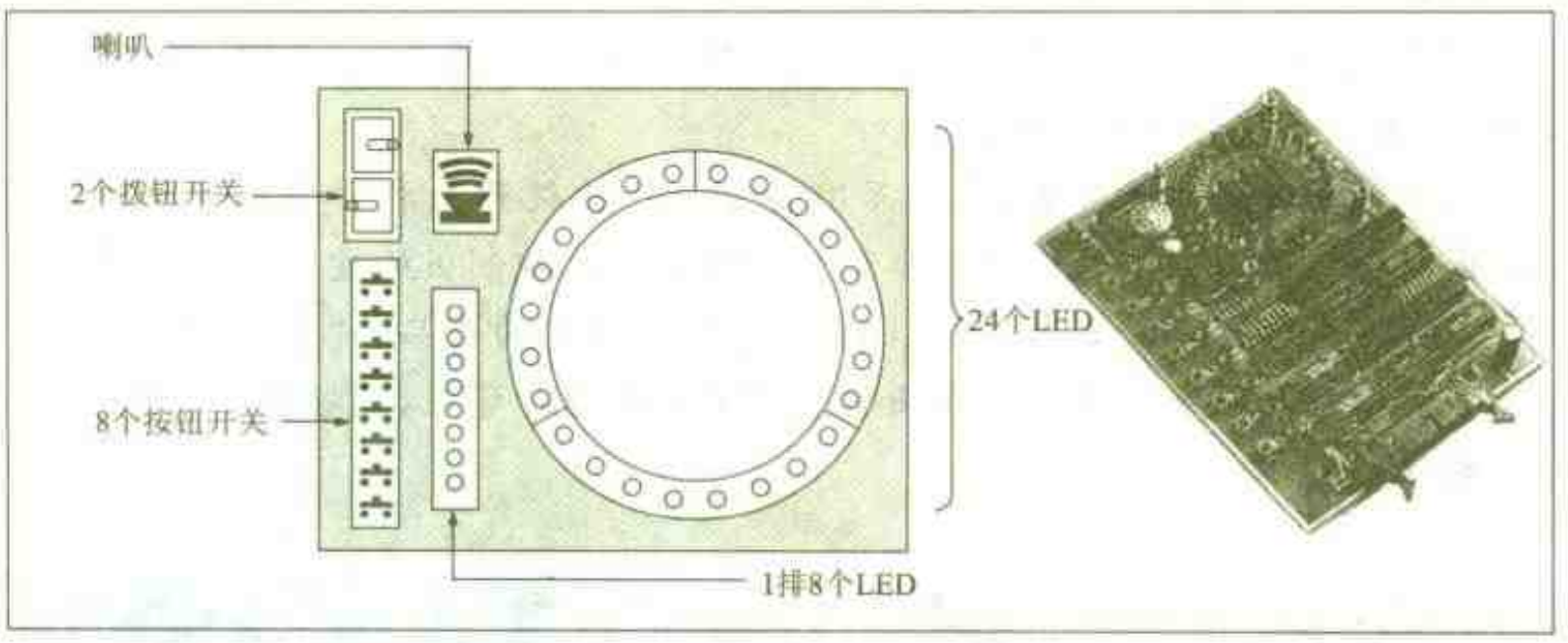


图1 "圆圆"的构成

Ⅲ C语言控制基础(输出篇)

下边使用CASIO VX系列袖珍计算机及Z-1来进行袖珍计算机控制。来自袖珍计算机的控制信号可从以下两处取出：

①30针杜邦制连接器，

②40针插卡连接器。

本书将以从30针杜邦制插口取出信号的方法为中心进行介绍。

(1) 30针扩展引脚的连接信号

Z-1袖珍计算机因是VX系列的改进型，所以其中仍使用30针扩展连接器。

表1中列出的是30针扩展连接器的各针信号。

表1 30针扩展引脚的连接信号

针 号	名 称	输入输出	用 途
1	V_{CC}		+5V
2	PB8	输入	RS232C DSR
3	PB7	输入	RS232C CD
4	PB6	输入	RS232C CTS
5	PB5	输入	未使用
6	PB4	输入	BUSY(PRINTER)
7	PB3	输入	未使用
8	PB2	输入	未使用
9	RXD	输入	RS232C DATA IN
10	PA4	输出	INIT(ACTIVE LOW)
11	PA3	输出	STB(ACTIVE LOW)
12	PA2	输出	RS232C DTR
13	PA1	输出	RS232C RTS
14	TXD	输出	RS232C DATA OUT
15	RST	输出	RESET OUT
16	DB4	输入输出	DATA BUS
17	DB5	输入输出	DATA BUS
18	DB3	输入输出	DATA BUS
19	DB6	输入输出	DATA BUS
20	DB2	输入输出	DATA BUS
21	DB7	输入输出	DATA BUS
22	BD1	输入输出	DATA BUS
23	DB8	输入输出	DATA BUS
24	A0	输出	ADDRESS BUS BIT 0
25	A1	输出	ADDRESS BUS BIT 1
26	A2	输出	ADDRESS BUS BIT 2
27	OE	输出	OUTPUT ENABLE
28	WE	输出	WRITE ENABLE
29	CS3	输出	CHIP SELECT 3
30	GND		0V



从此 30 针扩展连接器取出的信号可用于外部机器的控制及通信。从此连接器取出信号作成的接口板即为“宽宽”C 系列或就叫“宽宽”。图 2 是“宽宽”的电路图。

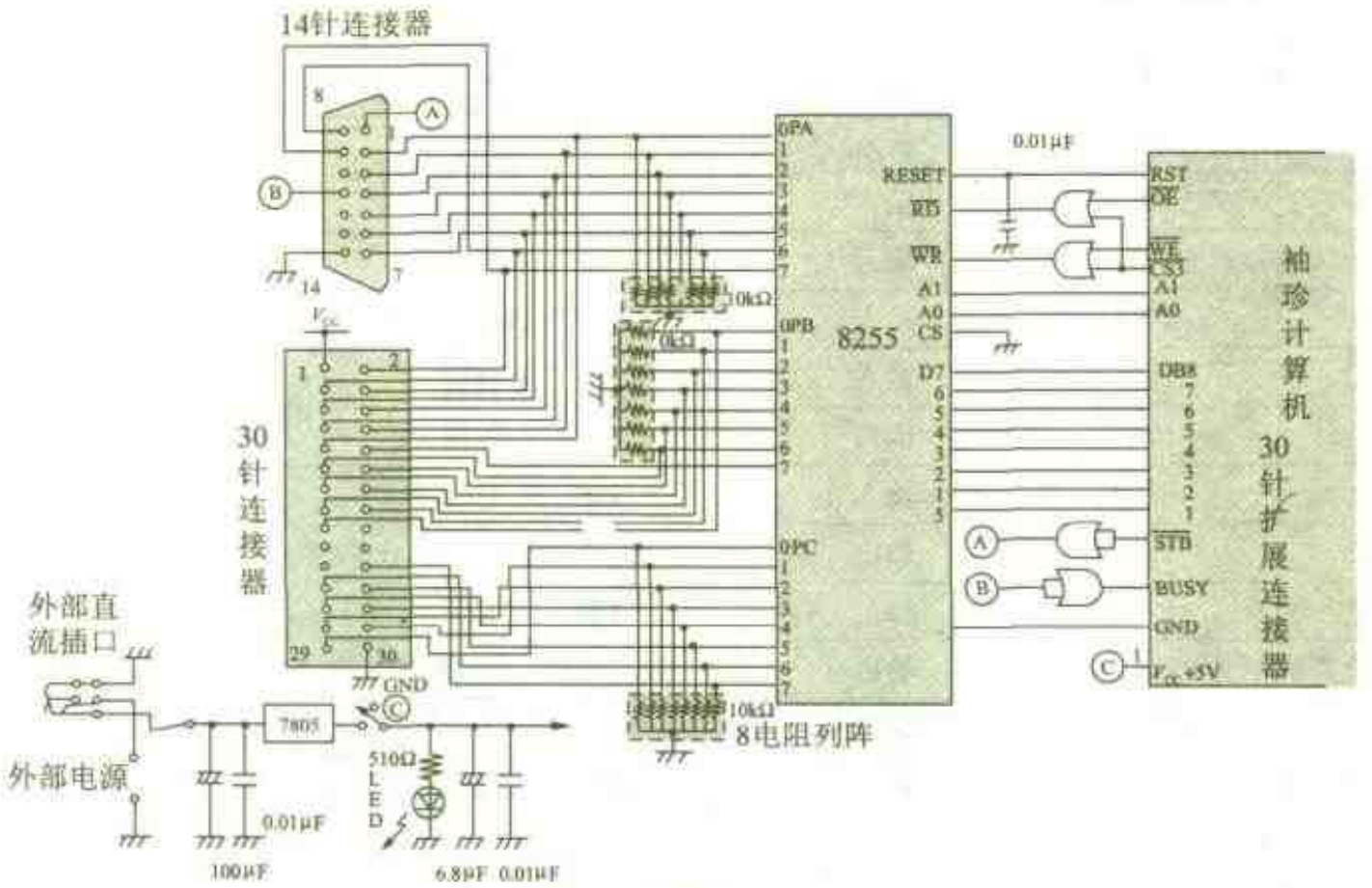


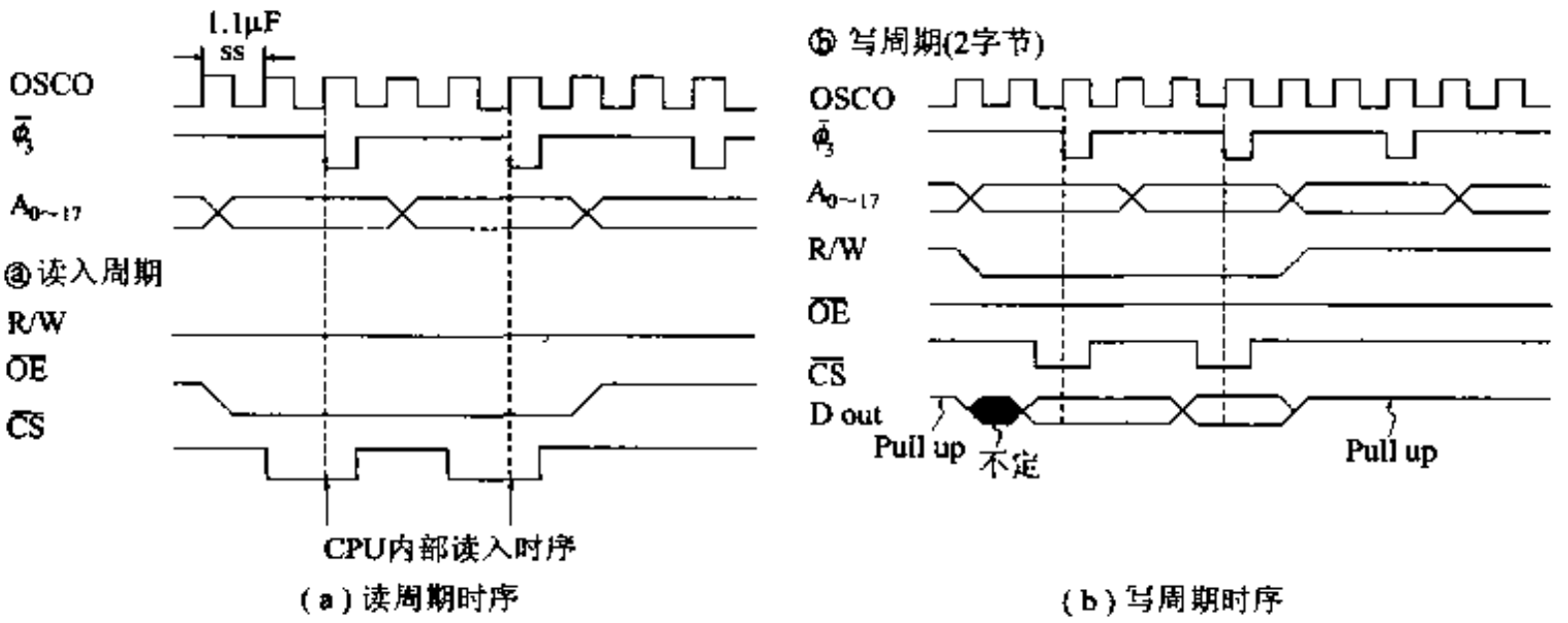
图 2　“宽宽”电路图

袖珍计算机的电源为正电源(低电平为零),即

$V_{CC}=5V\pm2.5\%$。

作为控制总线,可使用 CS3,OE,WE。地址线只能使用低 3 位(A0～A2)。数据总线为 DB1～DB8 8 位。

读写时序请参照图 3(a)、(b)。



(a) 读周期时序　　(b) 写周期时序

图 3　时序的安排

为将82C55接口IC芯片的3个口8位(合计24位)信号引向外部,特准备有30针连接器。

如图4所示,电路板的背面为有焊锡的一面。这样,右侧的第30针就是"地(GND)"。此面上涂有绿色的抗蚀剂,可以理解为地是电路板上导通面积最大的。

图5所示为焊锡面。

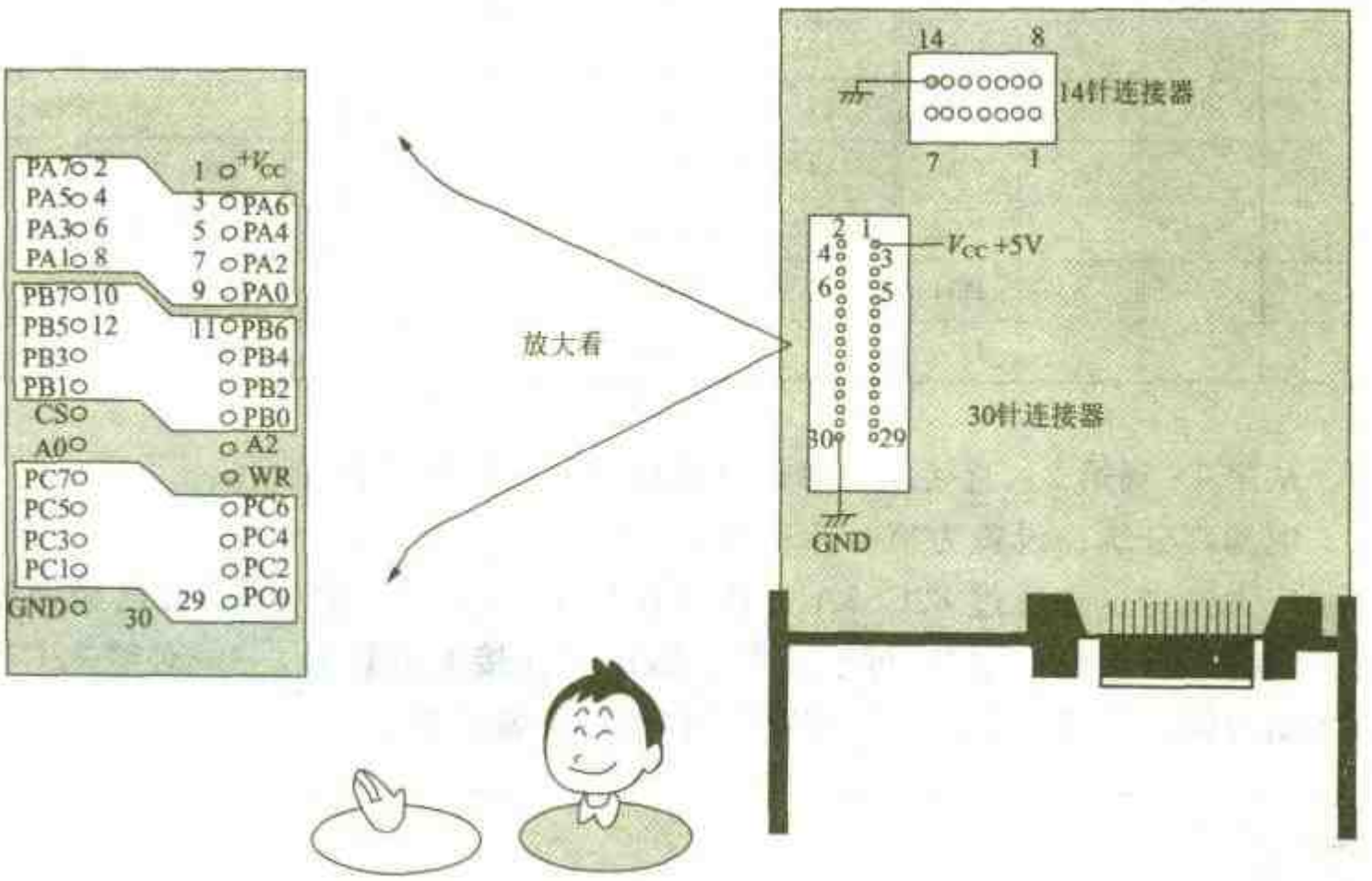


图4 "宽宽"边上连接器针的分配

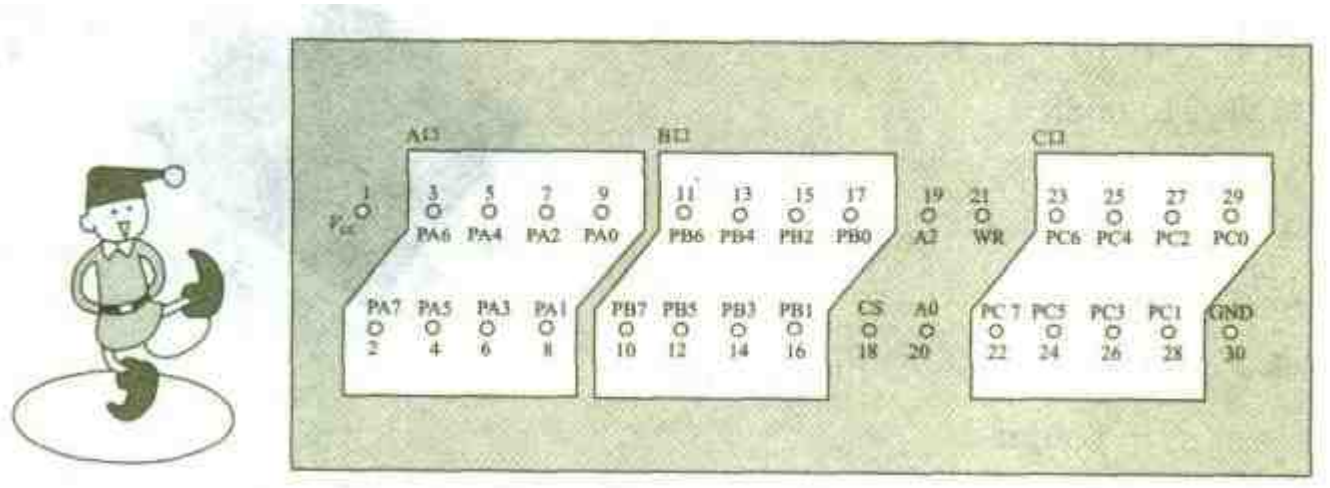


图5 从背面看到的30针连接器的针的序号

表2示出了30针连接器的针的分配。"宽宽"与外部信号交换是通过30

针连接器来进行的。从图 5 也可以看出，82C55A 的 A，B，C 口的信号线都归在了 30 针连接器的各相应口中。A 口是从第 2 针到第 9 针，B 口是从第 10 针到第 17 针，C 口是从第 22 针到第 29 针。

表 2 30 针连接器的针分配

针号	电源	针号	A 口	针号	B 口	针号	控制信号	针号	C 口
1	$+V_{CC}$	2	PA7	10	PB7	18	CS	22	PC7
30	GND	3	PA6	11	PB6	19	A2	23	PC6
		4	PA5	12	PB5	20	A0	24	PC5
		5	PA4	13	PB4	21	WR	25	PC4
		6	PA3	14	PB3			26	PC3
		7	PA2	15	PB2			27	PC2
		8	PA1	16	PB1			28	PC1
		9	PA0	17	PB0			29	PC0

从第 18 到第 21，直接从袖珍计算机取出原始信号以供使用。

电源部分统一设置为第 1 针和第 30 针。

广大读者也许通过 82C55A 进行过控制实验吧！想用“宽宽”对已经做好的控制物进行动作控制时，可参照图 5 给出的连接器的针号，一一对照 82C55 的各信号线。这样一来，使用“宽宽”的控制会非常广泛。



袖珍计算机扩展板的销售公司

你要购买袖珍计算机的扩展板，请咨询。

日本 YOUPIT 电子公司

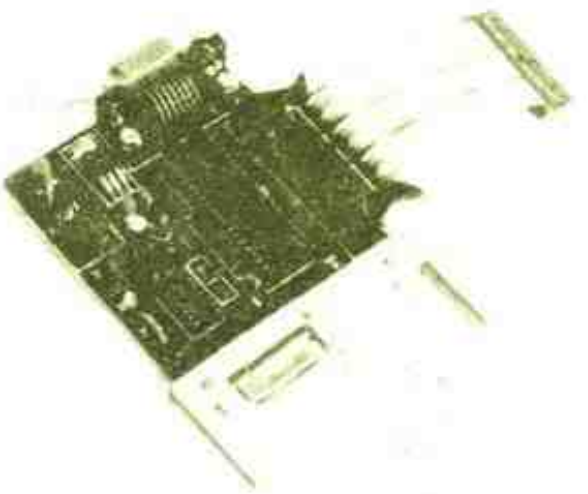
邮编：940-0088

地址：新潟县长冈市柏町 2—2—8

电话： 0258—32—2646

传真： 0258—33—2012

网址： http://www2.hits.ad.jp/~youpit



(2) 40 针插卡连接器

在袖珍计算机 Z-1 中，除了 30 针的扩展连接器外，还增加有 40 针的插卡连接器。由此 40 针插卡连接器也可以取得 PPI 控制接口的信号。这里虽不使

用，但作为参考，也将其规格作一介绍。

40 针插卡连接器，输出的是 CPU80L 188EB 的总线。16 位的地址必须译码，但为了使用方便，信号从 CS1(芯片选择 1)的引线输出。此信号的作用是归纳整理地址的高 10 位和 IORQ(IO 请求)信号。

为通过插卡连接器从 Z-1 袖珍计算机对外部设备进行存取，首先要设定电路片选信号 CS1(第 4 针)和 CS2(第 5 针)的使能条件。

对应于此插卡 CS1 的 CPU 内的寄存器为 GCS4。同样对应于 CS2 的寄存器为 GCS5。根据这些寄存器来指定是在 I/O 空间，还是在存储空间让片选使能。

设定例

分配 CS1 为 0300H～03FFH 的 I/O 空间时，

```
OUT &H90,&H0300,2.   设定 GCS4 开始...设定 40 针插卡连接器的 CS1 开始
OUT &H92,&H0408,2.   设定 GCS4 停止...设定 40 针插卡连接器的 CS1 停止
                     地址设定时为 2
                     数据设定时为 1
```

用 C 语言编写程序时，写法如下：

```
main()
{
  int i,a,b;
  outport (0x90,0x0300,2);
  outport (0x92,0x0408,2);          } 地址初始设定
  outport(0x323,0x90,1);      ....  设定 CWR 为 0x90
  outport(0x322,0x3e,1);      ....  "圆圆"的装置准备 OK
  outport(0x322,0x02,1);      ....  "圆圆"切换到"初级"
  outport(0x321,0xff,1);      ....  8 个 LED 全处于"开"状态
  }
```

☞ 请参照 p. 92 的"致读者"。

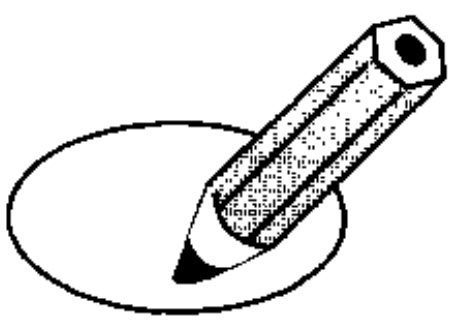


表 3 列出了 40 针插卡连接器的各信号。

表 3　40 针插卡连接器的信号

针　号	符　号	名　称	针　号	符　号	名　称
1	V_{CC}	+5V	2	V_{CC}	
3	ALE	ADRESS LATCH ENABLE	4	CS1	CHIP SEL 1
5	CS2	CHIP SEL 2	6	RSTO	RESET OUT
7	V_{IN}	VCC IN	8	INT	INTERRUPT
9	WR	WRITEENABLE	10	RD	READ ENABL
11	A17	ADDRESS 17	12	A16	ADDRESS 16
13	S1	STATE 1	14	S2	STATE 2
15	D7	DATA 7	16	D6	DATA 6
17	D5	DATA 5	18	D4	DATA 4
19	D3	DATA 3	20	D2	DATA 2
21	D1	DATA 1	22	D0	DATA 0
23	A15	ADDRESS 15	24	A14	ADDRESS 14
25	A13	ADDRESS 13	26	A12	ADDRESS 12
27	A11	ADDRESS 11	28	A10	ADDRESS 10
29	A9	ADDRESS 9	30	A8	ADDRESS 8
31	A7	ADDRESS 7	32	A6	ADDRESS 6
33	A5	ADDRESS 5	34	A4	ADDRESS 4
35	A3	ADDRESS 3	36	A2	ADDRESS 2
37	A1	ADDRESS 1	38	A0	ADDRESS 0
39	GND		40	GND	

① 即使计算机主开关 SW 处于断开状态，V_{CC}也常供电。

② V1N 为外部电源引线。对其施加 7～15V 电压可防止袖珍计算机内部的电池消耗。

③ S1，S2 随 CPU 动作模式，变化如下：



	S2	S1
MEMORY READ	1	0
MEMORY WRITE	1	1
IO　READ	0	0
IO　WRITE	0	1

40 针插卡连接器一边的 PPI 接口板，商品名为“宽宽 Z”，其全套组件及成品有售。

请向日本 YOUPIT 电子公司咨询(参见 p. 30)。

Ⅳ 接口电路

将来自袖珍计算机的控制信号连接到外部电路的过渡电路称为接口电路。典型的接口 IC 是美国 Intel 公司的名为 PPI-82C55A 的 IC。

(1) PPI-82C55A

PPI 是 Programable Periperl Interfase(可编程外围接口)的字头缩写。其意义为可编程外部接口。另外,承担此 PPI 主要任务的 IC 是名为 82C55A 的 IC。

82C55A,作为 8 位微机 IC8080 用的外部 LSI,是美国 Intel 公司开发的制品。但是,关于今天的使用情况,8080 中几乎不用,已被改良为 8085 及 Z-80(Zilog 公司)也可使用而得到广泛应用。82C55A 为 C-MOS 型的 LSI,用于低电流的场合。

82C55A 中,有 A,B,C 三个 8 位并行 I/O 口,总计可进行 24 位输入输出。

24 位输入输出,可用软件程序来决定每一位是输入还是输出。此即是所谓的可编程(programable)。被设置为输出的引脚,袖珍计算机的 CPU 可通过其输出"高"或"低"的电压信号,而被设置为输入的引脚,则可由其输入"高"或"低"的电压信号。

"高"电压信号指的是 2V 以上,程序将其视为"1"。而"低"电压信号指的是 0.8V 以下,程序将其视为"0"。图 6 是 82C55 的引脚配置图。





图 6 82C55 的引脚配置图

(2) 82C55A 与 8255A 的差异

82C55A 是 8255A 的 C-MOS 板。因而是具有 C-MOS 特点的低电流工作型

的 IC。对于像用电池工作的袖珍计算机那样的小电源装置，是非常合适的 IC。

表 4 给出了 82C55A 与 8255A 的差异。从数据上能明显地看出 I_{CC} 的不同。

表 4 82C55A 与 8255A 的差异

	8255A		82C55A	
	M_{IN}	M_{AX}	M_{IN}	M_{AX}
V_{IH} /V	+2.0	Vcc	+2.2	Vcc+0.5
V_{IL} /V	−0.5	+0.8	−0.5	+0.8
V_{OH} /V	+2.4		+2.4	
V_{OL} /V		+0.45		+0.45
I_{CC} /mA		120		5.0
I_{DAR} /mA	−1.0	−4.0	−1.0	−5.0



(3) 来自 30 针扩展引脚的口地址

口地址的设定，随计算机的种类而异。作为 30 针外部扩展引脚输出的信号，Z-1、VX 系列的袖珍计算机，以及 FX-870P，840P，860P，870P，890P 袖珍计算机具有相同的引出。即均按地址总线的 A0，A1，A2 与片选 CS3 的组合来决定。

“宽宽”C 系列及 mini“宽宽”的场合，由于只用一片 82C55A，其地址分配即如表 5 所示。

表 5

CS3	A2	A1	A0	地 址	口
L	L	L	L	00	A 口
L	L	L	H	01	B 口
L	L	H	L	02	C 口
L	L	H	H	03	控制字寄存器

(4) 82C55A 的模式设定

由于 82C55A 是所谓的“可编程外部 IC”，因而可由程序进行种种设定。这里的设定指的是模式设定，可选择模式 1、模式 2、模式 3 三种模式。模式 1、2，是按使用与外设间的数据传送及中断插入处理的“握手”方法进行。

模式 0 是最基本的使用方法。以下对此模式 0 进行说明。

(5) 作为模式 0 的 82C55A 的各口的输入输出

作为模式 0 的 82C55A 的各口的输入输出，按图 7 所示方法进行。

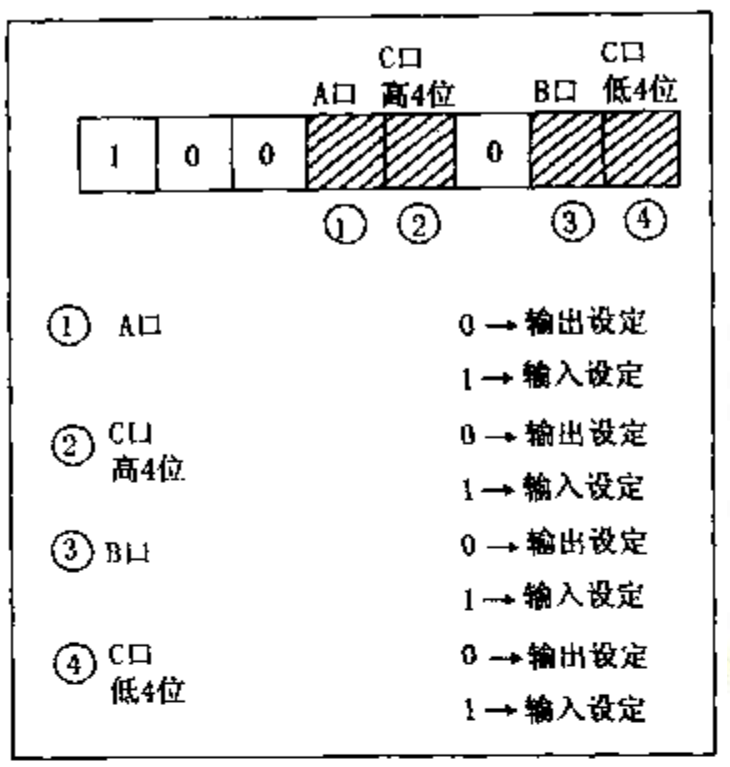




图7 模式0的各口的输入输出

由斜线所示的①、②、③、④四位的组合来决定各口的输入输出。图7①、②、③、④以外，按图所示进行“1”，“0”设置。此即模式0的使用方法。

图7的①，②，③，④输入的信号为0，1，1，1时，其设置即成：

A口：输出

B口：输入

C口：输入

则其控制字的数值码即为0x8B(二进制时为10001011)。

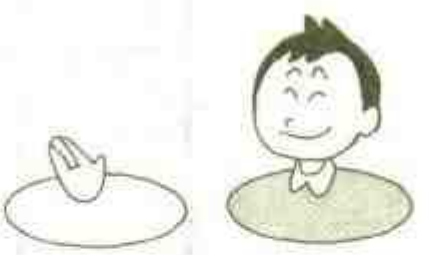
用于“圆圆”的控制字为0x90，它的设定为

A口：输入

B口：输出

C口：输出

从表7也可以看出其数值码为0x90。



下面，按照例题来练习一下各口的输入输出控制字的数值码都是多少。表6是练习题，表7是其答案。

表 6　控制数值码的练习

练　习	输入输出口				控制数值命令								
	A	C 高位	B	C 低位	二进制数								十六进制码
例题	出	出	出	出	1	0	0	0	0	0	0	0	80
练习1	出	出	出	入	1	0	0			0			
练习2	出	出	入	出	1	0	0			0			
练习3	出	出	入	入	1	0	0			0			
练习4	出	入	出	出	1	0	0			0			
练习5	出	入	出	入	1	0	0			0			
练习6	出	入	入	出	1	0	0			0			
练习7	出	入	入	入	1	0	0			0			
练习8	入	出	出	出	1	0	0			0			
练习9	入	出	出	入	1	0	0			0			
练习10	入	出	入	出	1	0	0			0			
练习11	入	出	入	入	1	0	0			0			
练习12	入	入	出	出	1	0	0			0			
练习13	入	入	出	入	1	0	0			0			
练习14	入	入	入	出	1	0	0			0			
练习15	入	入	入	入	1	0	0			0			

表 7　答　案

二进制数								十六进制码
1	0	0	0	0	0	0	0	80
1	0	0	0	0	0	0	1	81
1	0	0	0	0	0	1	0	82
1	0	0	0	0	0	1	1	83
1	0	0	0	1	0	0	0	88
1	0	0	0	1	0	0	1	89
1	0	0	0	1	0	1	0	8A
1	0	0	0	1	0	1	1	8B
1	0	0	1	0	0	0	0	90
1	0	0	1	0	0	0	1	91
1	0	0	1	0	0	1	0	92
1	0	0	1	0	0	1	1	93
1	0	0	1	1	0	0	0	98
1	0	0	1	1	0	0	1	99
1	0	0	1	1	0	1	0	9A
1	0	0	1	1	0	1	1	9B



为使控制板“圆圆”工作，对爱称为“宽宽”的接口板的 82C55A 的 A、B、C 口设定如下：

A：输入

B：输出

C：输出

则按此设定的控制字如表 7 的网线部分所示，为十六进制数的“90”。

(6) 袖珍计算机控制梗概

应用袖珍计算机进行控制的典型系统，如图 8 所示，是由“宽宽”系列或“宽宽”与控制电路“圆圆”构成。

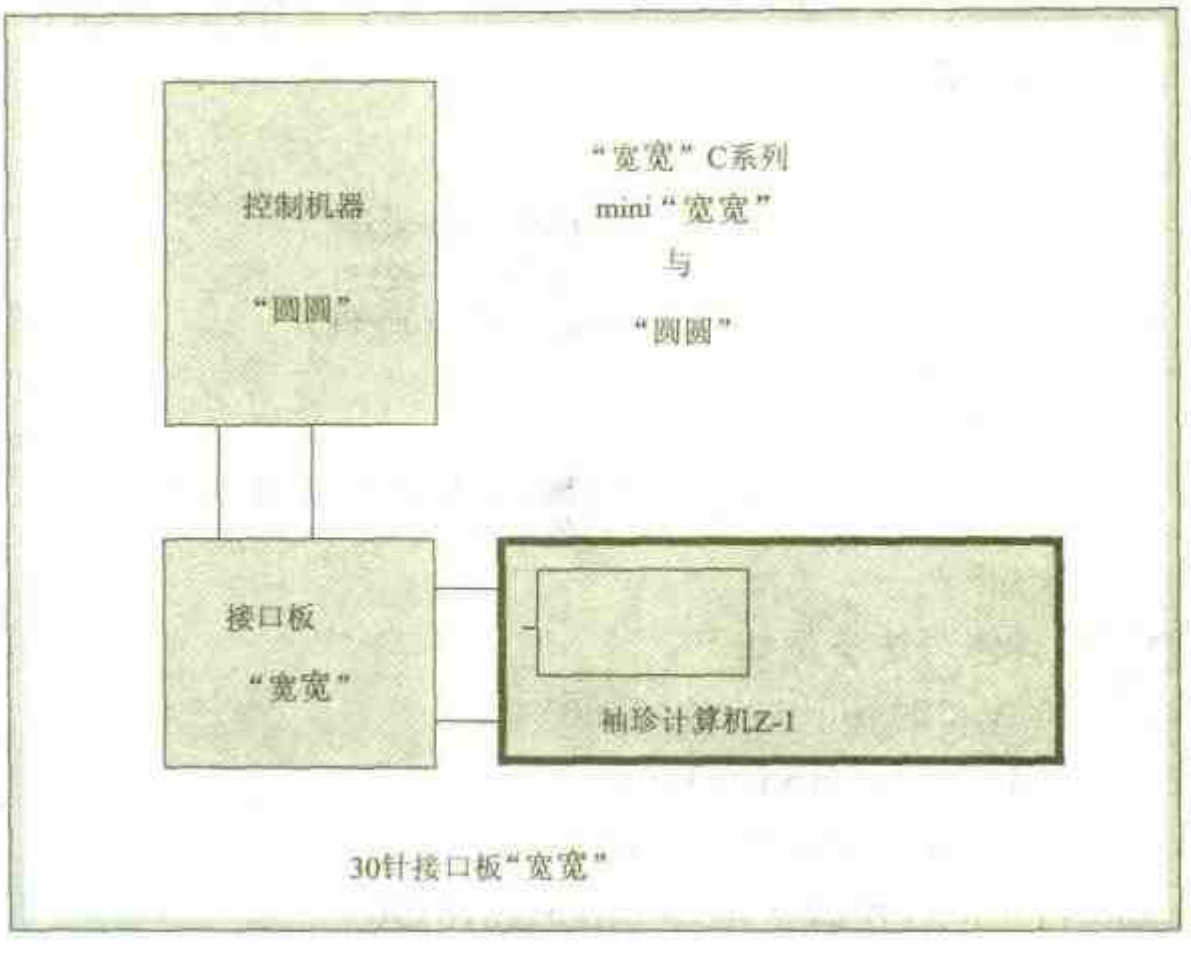


图 8



(a) 输出信号

由袖珍计算机的 CPU 向 82C55A 集成电路芯片发送信号，是将此信号以电压的高低输出，传送给 PPI 控制板，然后对外部控制机器进行控制。

(b) 输入信号

相反，另一个是得到外部控制机器的信号，将其传给 PPI 控制板，供袖珍计算机的 CPU 进行判断。

将 24 位口全部接到插头连接器，这样可以很自由地用扁平电缆将 CPU 周围的控制器移向外部。

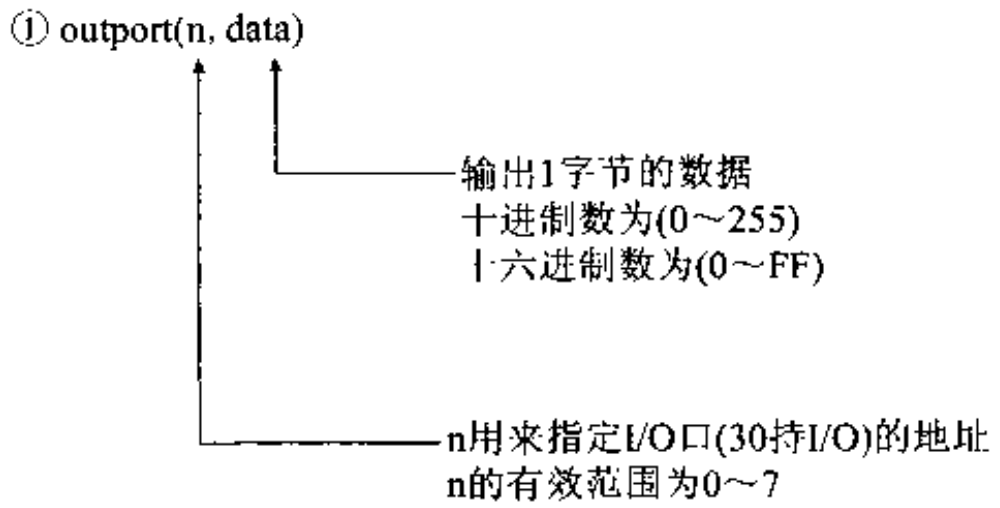
V 袖珍计算机的输出信号

如图 8 所示，可以从袖珍计算机向外部输出信号。

C 语言中，预先准备有输入输出库函数。所谓库函数，指的是使用袖珍计

算机的用户无需定义而在系统中已经定义有的函数。

所谓函数，以 BASIC 语言为例，其与“命令”的意思一致。但是不说成命令。命令只能决定一件事情。而函数在（ ）中给予各种不同的内容则能够做许许多多的工作。因此在 C 语言中，几乎没有所谓命令的概念。



用 C 语言的具体写法举例如下：

输出 0x80 到 A 口时，outport(0,0x80)

输出 0x20 到 B 口时，outport(1,0x20)

输出 0xff 到 C 口时，outport(2,0xff)

输出 0x90 到 CWR(控制字)时，outport(3,0x90)



C语言控制“圆圆”录相带

将“宽宽”和“圆圆”接到 CASIO 袖珍计算机上、帮助用户轻松学习 C 语言的录相带正在出售。

请向日本 YOUPIT 电子公司咨询(参见 p. 30)。





该录像带对控制的基础知识进行了具体的讲述，广泛收集有从 C 语言入门到应用程序等内容。配合教材一起使用，C 语言的控制以及 C 语言编程的学习效率定会大大提高。

(该录相带播放时间为 58 分 33 秒。)

Ⅵ 正确使用"圆圆"

"圆圆"是由来自CASIO袖珍计算机VX系列以及Z-1的30针引脚的控制器推动的LED闪烁轮盘的爱称。来自10针卡边的控制器也能推动，但此时必需称为"宽宽Z"的PPI板。

利用CASIO袖珍计算机和此"圆圆"，可以理解控制电路的基本组成，并用C语言程序来建立直观明了的控制装置。

通过LED闪烁的种种状态及其速度的控制，以及演奏音阶的程序等，会在不知不觉中掌握C语言程序的学习。

此"圆圆"是为了各位用户能够自如地编制程序而刻意制作的。如果能理解A、B、C口的分配，编制程序一定会变成一件快乐的事情。好像很复杂的程序，实际上不过是基本逻辑的重叠堆积。基本而且扎实的编程是很重要的。



Z-1以外的袖珍计算机的控制

VX系列以及FX 840P、FX-860P、FX-870P等袖珍计算机均能用BASIC语言实行控制。但要在程序的开头先设置DEFSEG－&H1000后进行。

本书中使用的BASIC语言中的OUTPORT命令，是Z-1及FX-890中用的，应将此OUTPORT命令改为POKE语句。

INPORT命令也应改为PEEK语句。

VX系列 FX-840以下系列	Z-1袖珍计算机 FX-890
10 DEFSEG=&H1000	
20 POKE 3,&H90 …	…OUTPORT(3&,H90)
30 POKE 2,&H3E …	…OUTPORT(2,&H3E)
100A=PEEK(0) …	…A=INPORT(0)
	但是，即使是Z-1及FX-890袖珍计算机，POKE、PEEK命令也能使用。

(1)"圆圆"的构成

图9为"圆圆"的电路图。

图10为"圆圆"的实物结构图。

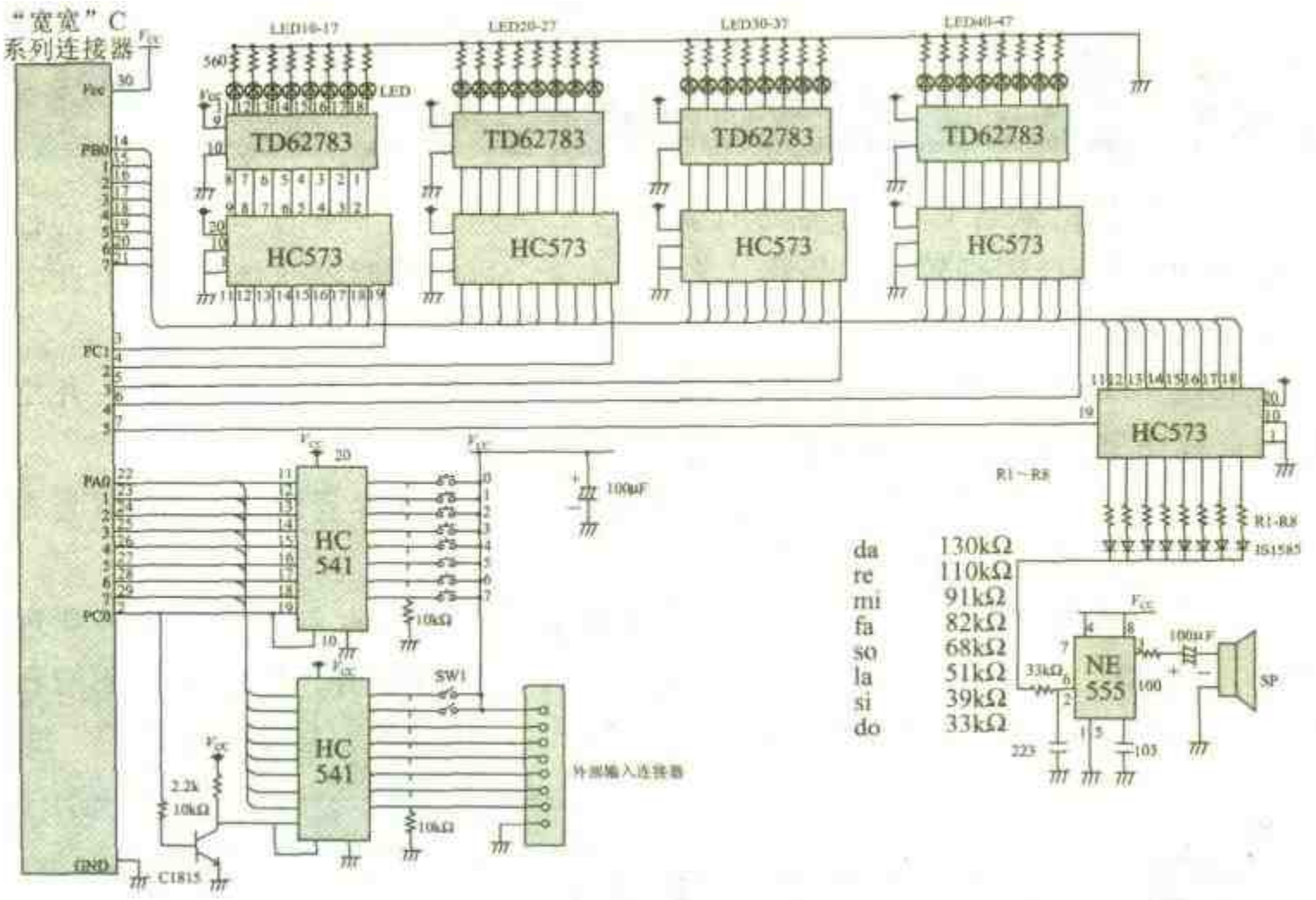


图 9 "圆圆"的电路图

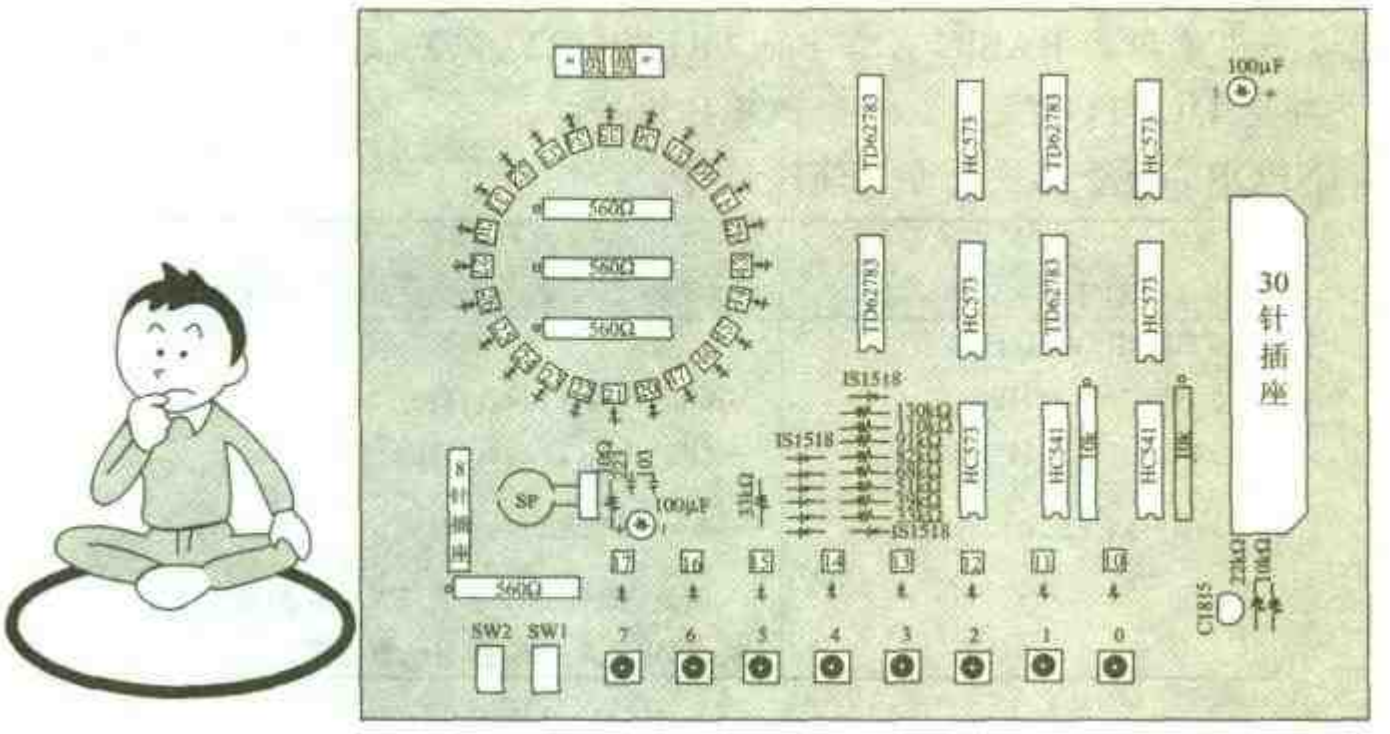


图 10 "圆圆"实况图

"圆圆"是将 24 个 LED 排成圆形，让其闪烁。LED 顺序闪烁呈现转动的圆圈时，恰如看轮盘赌的感觉。而且也能同时发出音阶。根据编程可做许多有趣的事情，是能够在娱乐的同时进行程序学习的好帮手。

为使LED闪烁，使用了4个74HC573锁存IC和4个8晶体管阵列来进行。为使LED闪烁时产生音阶，使用锁存IC和定时器IC555，以产生1个八度音阶的"do re mi"。

另外，作为输入用，还准备了2组8位输入，即8个排成1列的按键开关组和2个拨钮开关(2位)以及6个(6位)可选择安装的共计8位的输入组。

为平稳进行输入，还安装有2个74LS541缓冲器IC。

那么，和1排8个按键开关对应安装的8个LED是干什么用的呢？这是为实行"圆圆"的程序控制前进行"热身运动"而设计的。将其称为"圆圆"初等生也行。用C语言最初进行编程时，即可从此开始。

来自"宽宽"的3个口，与"圆圆"的关系如下：

A口：输入(按键开关等)
B口：输出(LED，奏乐)　} 控制字为0x90(详见表7)。
C口：输出(控制器)



接上mini"宽宽"或C系列"宽宽"的接口板，即可一步一步地开始编程。

(2)"圆圆"的口规格

(a) A口为输入口

A口为输入口，根据C口的0位(PC0)信号是高是低可进行两组8位输入的切换(参见表8、表9)。

表8　PC0低时

7位	6位	5位	4位	3位	2位	1位	0位
按开关	按开关	按开关	按开关	按开关	按开关	按开关	按开关

表9　PC0高时

7位	6位	5位	4位	3位	2位	1位	0位
						拨钮开关	拨钮开关

可选择6位外部输入

(b) B口为输出口

控制A口及C口的信号(参见表10)。

(c) C口是控制器

C口是输出口，是对连接到B口的LED及音阶进行选择的控制器(参见表11)。

表10

1排8个LED

PC1高,用0x02控制

位	7	6	5	4	3	2	1	0
	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED

PC2高,用0x04控制

位	7	6	5	4	3	2	1	0
	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED

PC3高,用0x08控制

位	7	6	5	4	3	2	1	0
	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED

PC4高,用0x10控制

位	7	6	5	4	3	2	1	0
	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED	LED

"圆圆"的24个LED

音阶

PC5高,用0x20控制

位	7	6	5	4	3	2	1	0
	do	si	la	so	fa	mi	re	do

表 11

十六进制码	7 位	6 位	5 位	4 位	3 位	2 位	1 位	0 位
	未使用	未使用	音阶切换 L_5:OFF H_5:ON ♪	8 个	8 个	8 个	1 排 8 个	A 口输入切换
				"圆圆"的24个LED				
0	0	0	0	0	0	0	0	0
01	0	0	0	0	0	0	0	1
02	0	0	0	0	0	0	1	0
04	0	0	0	0	0	1	0	0
08	0	0	0	0	1	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0
20	0	0	1	0	0	0	0	0
3E	0	0	1	1	1	1	1	0

由 C 口的控制器来决定接于 A 口及 B 口的装置。即通过 C 口的 0～5 位的开、关,对接于 A 口的输入开关组和接于 B 口的 LED 组进行切换。

如表 11 所示,根据 C 口的位的开、关,可对接于 A、B 口的装置进行切换。

十六进制码	说　明
0x0	释放所有装置。但只有A口的按键开关装置接着
0x01	A口的2个拨钮开关和选择输入装置接着
0x02	1排8个LED装置接着……练习程序用
0x04	圆盘上LED的第20～27接着
0x08	圆盘上LED的第30～37接着
0x10	圆盘上LED的第40～47接着
	这些单独连接的少。多是3组8位一起使用，用0x1c等进行指定
0x20	连接音阶装置……发出乐声
0x3E	连接B口的所有装置



Ⅶ “圆圆”开关ON!

按图8(参见p.37)所示连接袖珍计算机、“宽宽”和“圆圆”。

打开袖珍计算机的电源，其内部电源即会经由“宽宽”传给“圆圆”。但是，为确实保护袖珍计算机的电源，并不由它给“宽宽”供电，而是将外部电源接到“宽宽”，“宽宽”的内部则将外部切换开关置于“外部”。这样，即使打开袖珍计算机电源，“圆圆”的LED也不会开始旋转。

首先来做一些进行C语言编程的基本事情，以“圆圆”板上的1排8个LED的使用为例，活动活动肩膀。

“圆圆”开关ON时的故障处理

袖珍计算机、“宽宽”和“圆圆”接在一起时，如果有音阶发生及LED亮，可输入以下程序使系统处于复位状态。

C语言的情况

```
main()
{
      outport(3,0x90);
      outport(2,0x3e);
}
```

BASIC语言的情况

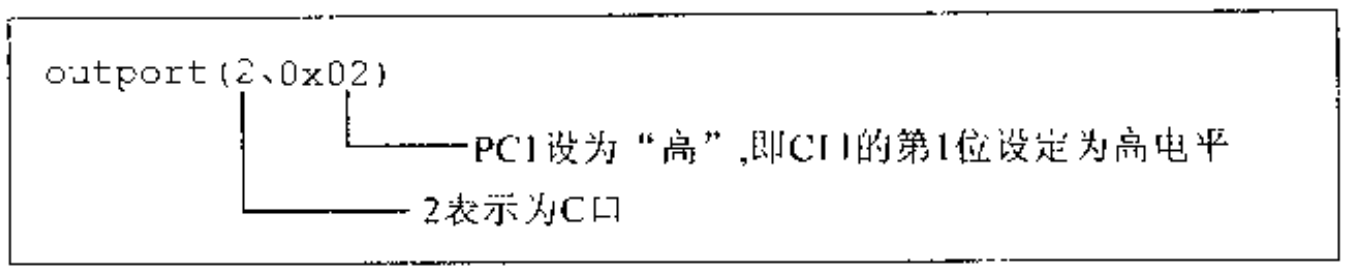
```
10  OUTPORT (3,&H90)
20  OUTPORT (2,&H3E)
```



(1) 8 个 LED 的亮、灭

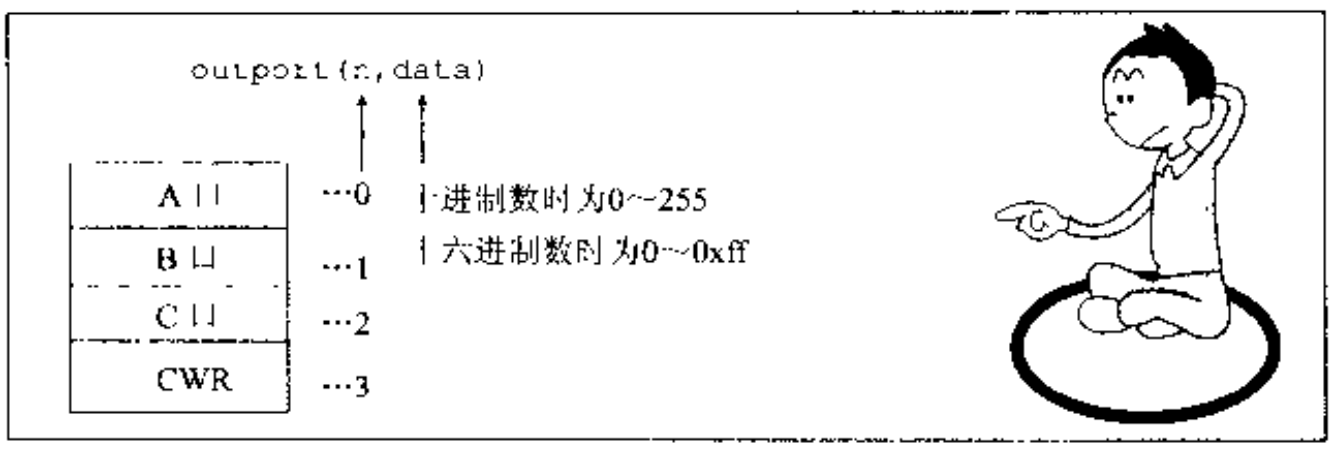
要让"圆圆"板上 1 排 8 个 LED 亮时，将 C 口的第 2 位(PC2)设定为"高"。

outport(　)函数，为通过接口电路从袖珍计算机向外部设备输出信号的函数。



练习题 1.1

编一段程序，使 8 个 LED 全亮，并经过定时器确定的一定时间后再全灭。



(CWR 为控制字寄存器，用以放置决定 A、B、C 各口为输入还是输出的编码(参照 P43 进行练习)。

●程序的编制与说明

```
/* M·W·R·K.C1 */                    .../*此中为注释*/
main(  )                            ...main(  )函数
{
  int k;                            ...表明变量 K 为整型变量
  clrscr( );                        ...清屏                    参见 p.36
  outport (3,0x90);                 ...A:输入,B:输出,C:输出(控制器)
  outport (2,0x3e);                 ...全部装置已准备好  参见 p.43
  outport (2,0x02);                 ...1 排 8 个 LED 复位  参见 p.43
  outport (1,0xff);                 ...1 排 8 个 LED 全亮
  for(k = 0;k <= 10000;k ++ );      ...延时
  outport (1,0);                    ...1 排 8 个 LED 全灭
}
```

/* */中的内容为注释。

/*M·W·R·K·C1*/程序，是用一个main( )函数程序写的最基本的程序。将此基本程序作种种发展，C语言程序即得到拓宽。

例如，下面的text1.c程序中，是编写文字型指针以及程序的人将其编写成独立函数，以使程序更为简洁。

请参考程序右侧的说明来理解程序的内容。

练习题 1.2

使用文字型指针编一段程序，将与M·W·R·K·C1程序相同的结果在袖珍计算机的显示器上显示为：

如果LED亮……[8个LED亮]

如果LED灭……[8个LED灭]

另外，再编写timer( )等函数，

●程序的编写与说明

```
/* text1.c */
main()
{
char *led8, *on, *off;          :表明为字符型指针变量，见注释*1(p.46)
led8 = "8个 LED";               :由于表明为字符型指针变量
on = "亮";                      :故需指定字符串数据
off = "灭";
clrscr();                       :清屏函数(袖珍计算机专用库函数)
start();                        :初始设定函数，称为 start()
outport(2,0x02);                :C口的第2位开((ON)(1排8个LED)
outport (1,0xff);               :输出0xff给B口，即8个全亮
printf("%s%s\n",led8,on);       :见注释*2(p.47)
timer(2000);                    :称为定时函数 timer()
outport (1.0x0);                :8个LED全灭
printf("%s%s\n",led8.off);      见注释*2(p.47)
}
/* start */
start()                         :调用初始设定用函数 start()
{                               :设定A为输入，B,C为输出
outport (3,0x90);               :设定控制字寄存器为0x90
outport (2,0x3e);               :电源(ON时，LED亮，音阶不响，处于复
                                 位状态。
```

```
}
/* timer *
timer(t)   ;调用定时函数 timer()
int t;     ;在 timer()函数全域内,变量 t 可有效地以 16 位整型数使用。
{
int k;     ;k 值从 0 开始,每次加 1 进行循环重复处理,直至其值到 t。
for (k=0;k<t;k++);
}
```

(a) Clrscr(　)函数

Clrscr(　)是消去袖珍计算机的屏幕显示并将光标回归原来位置的屏显控制函数。

(b) int 说明

int 是变量的类型说明。int 表示为整数型。

(c) Char 说明

Char 是整数型的文字说明。进行类型说明时,在变量的前标有“*”是表示该变量为指针变量。在做过类型说明后的程序内,变量前不再标“*”。



(d) for (　)语句

for(　)是循环控制型的重复处理的表述。

I 的值从 0 到 7 逐一变化。

(e) while(　)语句

```
while(1)
  {
  }
```

表示无限循环重复处理。

(f) 指针

(注释 * 1)

指针具有指示首地址序号的作用。说明某变量为指针变量时,只在类型说明时给变量的前面标注 *(星号),即表明该变量为指针变量。如

```
char *led8,*on ,*off;
```

等,即是说明变量 led8,on,off 均为字符型指针变量。

类型说明以外的地方标有 * +变量(标有 * 的变量),不表示为指针变量,而是指针指示的地址内容,有存放数据的含义。mawarul.c 的程序中没有这样

的记述，但如果在程序的最后有以下记述，可以证明以上的说明。

```
printf("%c\n", *on);
```

执行此语句，变量on最前头的地址"亮"字被显示。如果再有记述

```
printf("%c\n", *(on+1));
```

那么最前头加1号地址处的"了"字被显示。总之，类型说明以外的标有*的变量不是指针变量，而是指针指示的地址处的数据。

程序中，取掉*（星号）即成为指针变量。

```
printf("%s\n",led8);
```

的LED8是指针变量。因而会从LED8的首地址一直显示到"¥0"的编码。例如，以下程序语句及其相应的显示为：

```
printf("%s\n",led8);        :8コノLEDガ(8个LED)
printf("%s\n",led8+1);      :コノLEDガ(个LED)
printf("%s\n",led8+2);      :ノLEDガ(LED)
```

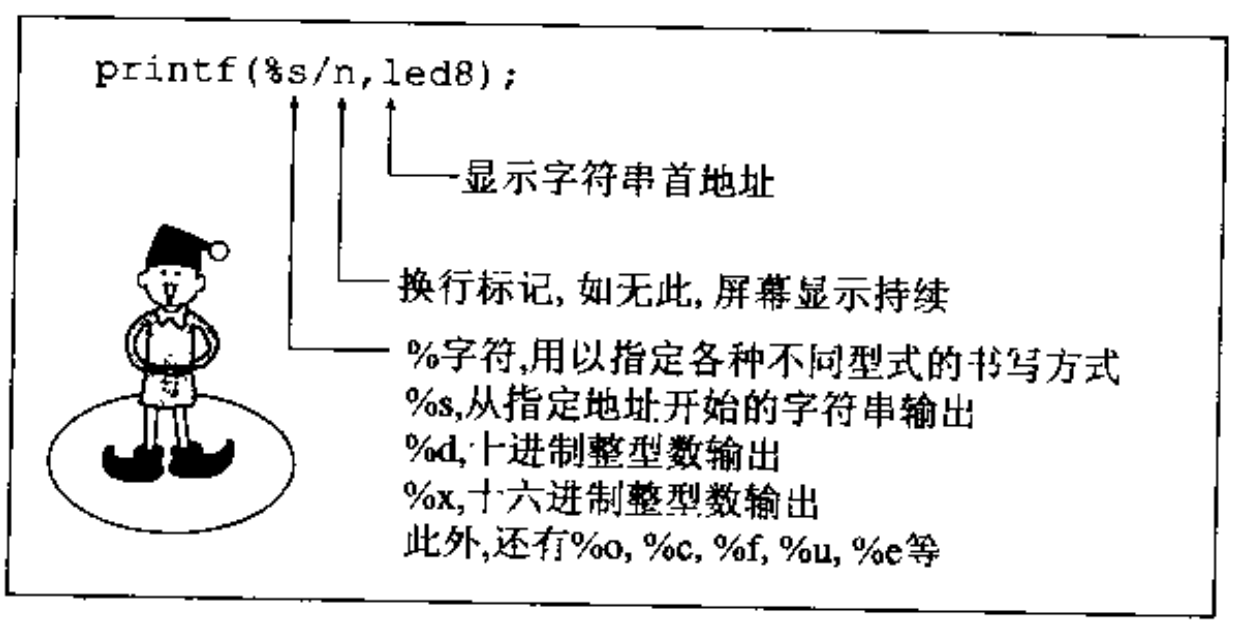
但是，即使看程序的每个地方，也看不到"\0"的记述。"\0"称为空码，即使程序用户不作记述，也会自动地添加上去。

(g) %字符

(注释*2)

printf("%s\n",led8);语句的说明

printf( )是屏幕显示库函数。而库函数是指袖珍计算机内部已经备有的函数。



```
printf(%s%s/n,led8,off);
```

按此对应关系，还可追加内容，进行各种各样的表现

执行此程序，一排 8 个 LED 即亮。神珍计算机的屏幕上显示

8コノ　LEDガ　ツキマス(8 个 LED 亮)



延时一段时间后显示

8コノ　LEDガ　キエマシタ(8 个 LED 灭)

8 个 LED 熄灭。执行

```
outport (2.0x02);
```

C 口的第 1 位 ()N.B 口切换到 1 排 8 个 LED 状态时，执行

```
outport (1.0xff);
```

8 个 LED 全亮。

timer(2000)中的 2000 为自变量，程序处理到直至 timer(　)函数内的条件按此值满足。自变量改变时 LED 亮的时间会随之变化。t 值指定为 16 位整型数，其极限值为 32767。需要大于此值时，用 long t;代替 int t;这时指定的是 32 位整型数。



C 语言的格式



```
main(　)...main 是函数，所以必须要带(　)
{
    变量类型说明……进行所处理数据类型的说明
    int i;          ……说明变量 i 按整型数使用

    处理                进行处理
printf("ABC\n");     ;表示一条语句的终结。
            \n 是回车( ⏎ )的编码，省略时表示继续。
}…… main 函数结束标记
```

括号{　}表示 main 函数的有效范围。用{开始，用}结束。由于 C 语言中不使用引号，所以，这样的函数约束是必要的。

(2) 8个LED一个一个地亮灭变化

练习题1.3

编写一段程序，使1排8个LED从低位开始顺序亮灭。

●程序的编写与说明

学习程序/*M·W·R·K.C1*/，用一个main( )函数完成程序的编写。

```
/*M·W·R·K.C2 */
main( )
{
    int i,k;
    clrscr( );
    outport (3,0x90);
    outport (2,0x3e);
    outport (2,0x02);
    while(1)                ……循环重复处理
    {
      for (i = 0x01;i<= 0x80;i<<= 1)……i的值逐位左移
      {
        outport (1,i);……随i值的变化，不同的LED亮
        for (k = 0;k<= 50;k++);……LED亮的时间短
      }
    }
}
```

初始设定，对1排8个LED的相关设定

此程序中无

outport (1,0);

因而1排8个LED不能一齐灭。

将/*M·W·R·K.2C*/进行整理，即知：

① LED不一齐亮；

② LED亮的形式不同；

③ LED亮的时间短；





④ 程序为无限循环。

(h) 左右移位算子

为让 LED 顺序亮灭闪烁，C 语言程序中一般使用左右移位算子。

I≫1；变量 I 的数据右移 1 位。

I≫2；变量 I 的数据右移 2 位。

≫即为右移位算子。

左移位算子的符号为≪。

I≪1；变量 I 的数据左移 1 位。

C 语言中备有大量的算子。一个一个地反复学习是很重要的。C 语言程序的特点是不断地调用编制的函数，它是利用函数的程序。因而，在问题 2 的程序中，试编了尽可能多使用/ * mawaru 2.c * /这样函数的程序。

(i) while(1) { }的含义

```
/ * mawaru2.c * /
main ( )
{
    int i;
    clrscr ( );
    start ( );
    while(1)
    {
        outport (2,0x02);
        for (i=0x01;i <= ox80;i <<=1)
        {
          led(i);
          disp(i);
          timer(50);
        }
          printf( "\n" );
          outport (1,0x0);
    }
}
```

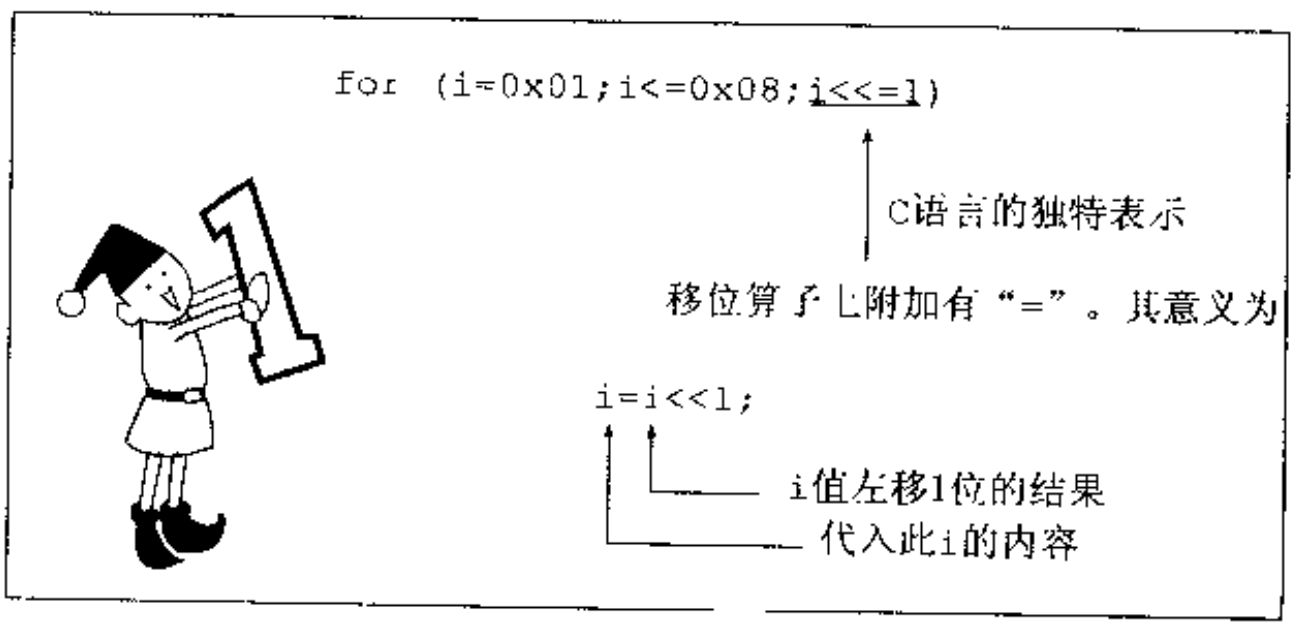
while(1)
{
此部分为无限循环
}

while(1)的( )中为真值时，进行{}内的处理。while(1)的( )内的值为1以上时常常为真值，因而会无限循环处理。

printf("\n")为袖珍计算机屏幕上8位1个字节的数据显示的换行。

```
/* start(  ) */                    :初始设定函数 ·····  (j)
start(  )
    {
    outport (3,0x90);
    outport (3,0x3E);
}
/* timer (  ) */                   :定时函数 ·····  (k)
timer (t)
int t;
{
    int k;
    for (k = 0; k<t;k++);
}
/* led (  ) */
led (x)                            :LED 亮灭函数 ·····  (l)
int x;
{
    outport (1,x);                 :输出至 B 口
}
/* disp(  ) */
disp (d)                           :袖珍计算机显示函数 ·····  (m)
{
    int i;
    printf("%2x",i);               :用十六进制指定 2 位
}
```

●程序的说明



(n) i≪=1 的含义

由于 for( )是循环重复处理,上语句中的含义是 i 逐位左移,从 0x01(十六进制的 01)直至 0x80(十六进制的 80)为止。

(o) 编制函数

```
led(i);          ;LED 点亮函数
disp(i);         ;袖珍计算机显示函数
timer(50);       ;定时函数
```

C 语言的程序中,编制特定的函数应使程序简练易读。这里编写了对 LED 点亮函数和袖珍计算机显示函数等,并冠以适当的函数名。

函数值与自变量密切相关。所谓自变量,指的是代入函数的( )中的数值,即在函数之间进行交换的数据。

(p) 自变量

将自变量代入函数→习惯上称为赋值
从函数进行输出 →习惯上称为返回值

调用函数 timer(50);指的是将自变量 50 赋值给 timer( )函数。再在 timer( )函数中处理后返回到 main( )函数内。

函数中按自变量的处理,分为三种类型:

函数 ① 不返回自变量的函数
函数 ② 以数值形式返回自变量的函数
函数 ③ 以地址或指针形式返回自变量的函数

以 LED 亮灭函数 LED(i)为例进行说明。

此函数是以数值形式返回自变量的函数。

```
  led(i);
      ↑
      └──────┐
/*led ()*/    │  ledi(i)函数中自变量的变量名与被调用函数led(x)
led(x)←──────┘  的变量名不同或相同皆可。原因是一个函数内的变量
{               是独立的,传给函数的不是变量名(如int x;),而是变
                量的取值
  outport (1,x);
}                    :输出至B口
```

●程序的执行

执行程序,1 排 8 个 LED 开始顺序亮灭闪烁。袖珍计算机的屏幕上显示出十六进制表示的内容为

1 2 4 8 10 20 40 80

由于是无限循环程序，不按断开键程序不会停止。

还有，进行以下的更改，可使程序变为亮了的 LED 不灭，8 个 LED 顺序变亮。

① `for (i = 0x01; i<= 0x80;i<<= 1)`

改为 0xff

②

```
i = |1;      :(i=i |1  取每位的 OR(或))
led(i);
disp(i);
```

③ disp( )函数

```
printf("%2x",1);
```

设为3X
3表示是3位
大写字母X表示是十六进制

经过这样的改写，执行程序时，即会顺序变亮。袖珍计算机的屏幕上显示：

1 3 7 F 11 3F 7F FF



函数的比较

BASIC 语言	C语言
PRINT INPUT 称为命令语句 • • • MID$ RIGHT$ BASIC 语言中称这些为函数	此部分称为函数 ↓ printf("文字串\n",x,y); scanf("%d",&a); ( )内称自变量

2 LED闪烁速度的调整与音阶

用C语言能够控制LED的闪烁，本节学习有关C语言的独特的函数及其结构。

所谓函数，即是可完成一件工作而整理成的程序。只要对实自变量及假自变量进行严格的处理，函数内处理的变量也可以与不同的程序连接使用。本章对有关函数的形式和程序的流程进行简单的说明 。

安装在袖珍计算机上的C语言，可单独运用函数。这样一来，特别有关控制的程序部分，只要将其整理成函数，使用就变得非常方便。

另外，在控制板的控制中，来自控制板的信号经袖珍计算机判别，其结果再去控制控制板上的LED及音阶。这也是控制的重要学习内容。

由控制板上的开关输入，体验LED闪烁的类型以及闪烁速度的变化的程序，可加深C语言的学习。

由于能发生音阶，将LED的闪烁与音阶配合在一起，一定能够编制出更有趣的程序。下工夫来编制有意思的程序吧！

I 函数集合体的编程

C语言就是函数的集合，下面学习其函数的有关内容。

练习题 2.1

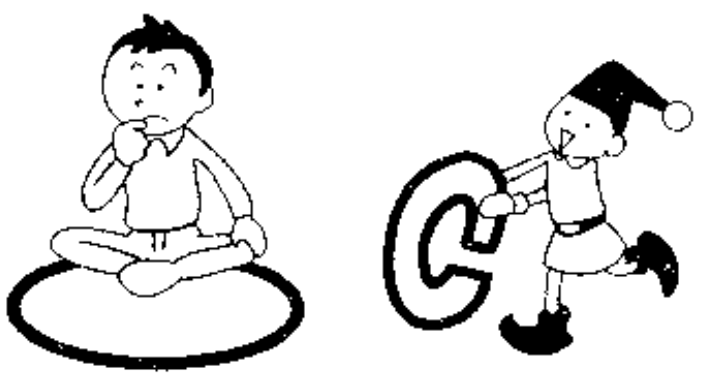
●编一段程序，使LED从下向上顺次闪烁后，再由上向下闪烁。并且在LED闪烁的同时，发出“doremi”音调。

用C语言试编的程序，即M·W·R·K.3C程序。

●程序的编写

```
  * M * W * R * K.3C *
main()
{
    int i.k;
    clrscr();
    outport (3.0x90);
    outport (2.0x3e);
    outport (2.0x22);                    ;音阶也能输出

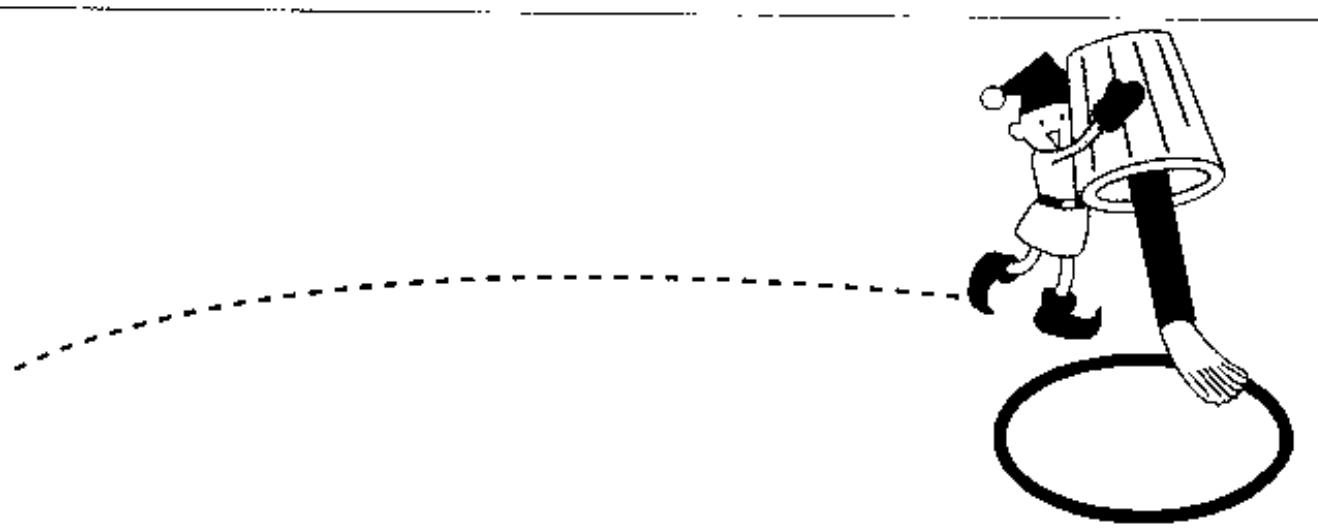
    while(1)
    {
      for(i = 0x01;i = 0x80;i = 1)       ;左移 1 位
      {
        outport(1.i);                    ;输出至 B 口
        for(k = 0;k = 50;k + + );        ;定时
      }
      for(i = 0x80;i = 0x01;i = 1)       ;右移 1 位
      {
        outport(1.i);                    ;输出至 B 口
        for(k = 0;k = 50;k + + );        ;定时
      }
      outport(1.0);                      B 口关(OFF)
    }
}
```



M·W·R·K.C'3程序是将定时部分当做独立的函数对待的。当然，执行的结果仍然相同。

```
/*M·W·R·K.C'3 */
main()
{
    int i;
    clrscr();
    outport (3,0x90);
    outport (2,0x3e);
    outport (2,0x22);

    while(1)
    {
        for(i = 0x01;i<= 0x80;i<<= 1)
        {
            outport(1,i);
            timer(50);              :将变量50连续传给定时函数
        }
        for(i = 0x80;i>= 0x01;i>>= 1)
        {
            outport(1,i);
          timer(50);
        }
    }
}
timer(t)                            :定时函数
int t;
{
    int k;
    for(k = 0;k<t;k++);
}
```



这里再从M·W·R·K.3C和M·W·R·K.3′C两个程序中，按独立函数进行分离，编制成的简洁程序即为M·W·R·K.C3。

```
/*M·W·R·K.C3 */
main()
{
    int i;
    start( );
    outport(2,0x22);
    while(1)
    {
        for(i=0x01;i<=0x80;i<<=1)
        {
            outport(1,i);
            timer(50);
        }
        for(i=0x80;i>=0x01;i>>=1)
        {
          outport(1,i);
          timer(50);
        }
    }
}
start()                    :初始设定函数
{
    clrscr( );
    outport (3,0x90)
    outport (2,0x3e)

}
timer(t)                   :定时函数
int t;
{
    int k;
    for(k=0;k<t;k++);
}
```



C语言可将函数集合、各种函数收集组成子构造，像搭积木那样，编制成程序。

Ⅱ 将函数部分分离为独立文件

练习题 2.2

●编一段程序，使 LED 从下向上顺次闪烁后，再由上向下闪烁。并且在 LED 闪烁的同时，发出“斗来米”音调。

但是，要将函数部分独立作成单独的文件，并用预处理功能语句 # include 进行指定。

(1) 预处理

C 语言处理系统中，具有对执行部分编译前进行预处理的功能。此即为

① # include 语句

② # defne 语句

include 语句是将指定的文件内容原封不动地插入到有 # include 语句的地方。例如，想使用收在袖珍计算机的第 9 号文件中的文件时，作为预处理，在 main( )函数前要写上

include“f9”

此即表示的是分离为第 9 号文件的独立文件。



```
# include “f9”：记述指定的文件域名
/ * text2.c * /
main()
{
    int a,i,key;
    clrscr();
    start();
    printf(“按回车键 \ n”);
    outport (2,0x22);                    :指定连接到 B 口的装置
    while((key = getchar())! = EOF):袖珍计算机的键入条件，见注释 * 3 (p.61)
    {
    printf(“ % d % c \ n”,key,key);:输入键的十进制数表示和文字字符表
                                        示
        for(a = 0;a<= 7;a + + )          :使从 0 位到第 7 位变化
        {
            i = shiftl(a);               :左移位函数  注释 * 4(p.61)
            led(i);
```

```
            disp(i);
            timer(50);
        }
        printf("\ n");:袖珍计算机屏幕上 8 位 1 个字节数据显示的换行
    for (a = 0;a<= 7;a ++ )                :使从 0 位变到第 7 位
        {
            i = shiftr(a);                 :右移位函数
            led(i);
            disp(i);
            timer(50);
        }
        printf("\ n");                     :袖珍计算机屏幕上 8 位 1 个字节数
                                            据显示的换行
        outport (1,0x0);                   :停止向 B 口输出
    }
}
```

第 9 号的"f9"文件域中记述的即为下述程序。这些程序都是程序用户构造的函数。

```
/ * start() * /
start()                        :初始设定函数 ……(2)
{
    outport (3,0x90);
    outport (2,0x3E);
}
/ * timer () * /               :定时函数 ……(3)
timer(t)
int t;
{
    int k;
    for (k = 0;k<t;k ++ );
}
```



```
/* led() */                          :LED 亮灭函数  ……(4)
led(x)
int x;
{
    outport(1,x);
}
/* disp() */                         :袖珍计算机显示函数  ……(5)
disp(d)
int d;
{
    int i;
    printf("%2x",i);
}
/* shift1 */                         :左移位函数  ……(6)
shift1(x)
int x;
{
    int z;
        z = 1<<x;
        return(z);
}
/* shift(x) */                       :右移位函数  ……(7)
shiftr(x)
int x;
{
    int z;
    z = 0x80 >> x;
    return(z);
}
```



程序说明

(8) getchar( )函数

(注释 * 3)

getchar( )函数为库函数。所谓库函数,指的是予先准备好的函数。此函数为 1 字符输入函数,直至有键盘输入,它一直处于等待输入的状态。例如,输入 A,即是将 A 的 ASC 码"0x41"输给变量键。所谓 1 字符输入函数是说即使有 1 字符输入,此函数也不立即执行。被输入的字符编码,暂时存放在缓冲器中,直至回车键↵按下前,一直在进行存入。

按下回车键↵,此前的数据变得能输向计算机。↵也被看成"\n"。

程序执行时,getchar( )函数对 1 字符输入,也可看作是字符串输入。

```
while((key=getchar( )) ! =EOF)
```

EOF 值为-1。在袖珍计算机中是 SHIFT 键+↵(个人计算机中的 EOF 是 CTRL+Z(control Z)。)。

key 的值只要不是-1,字符会不断存入缓冲存储器,↵信号来到,才进入下一步的处理。

↵信号的记号为"\n"。

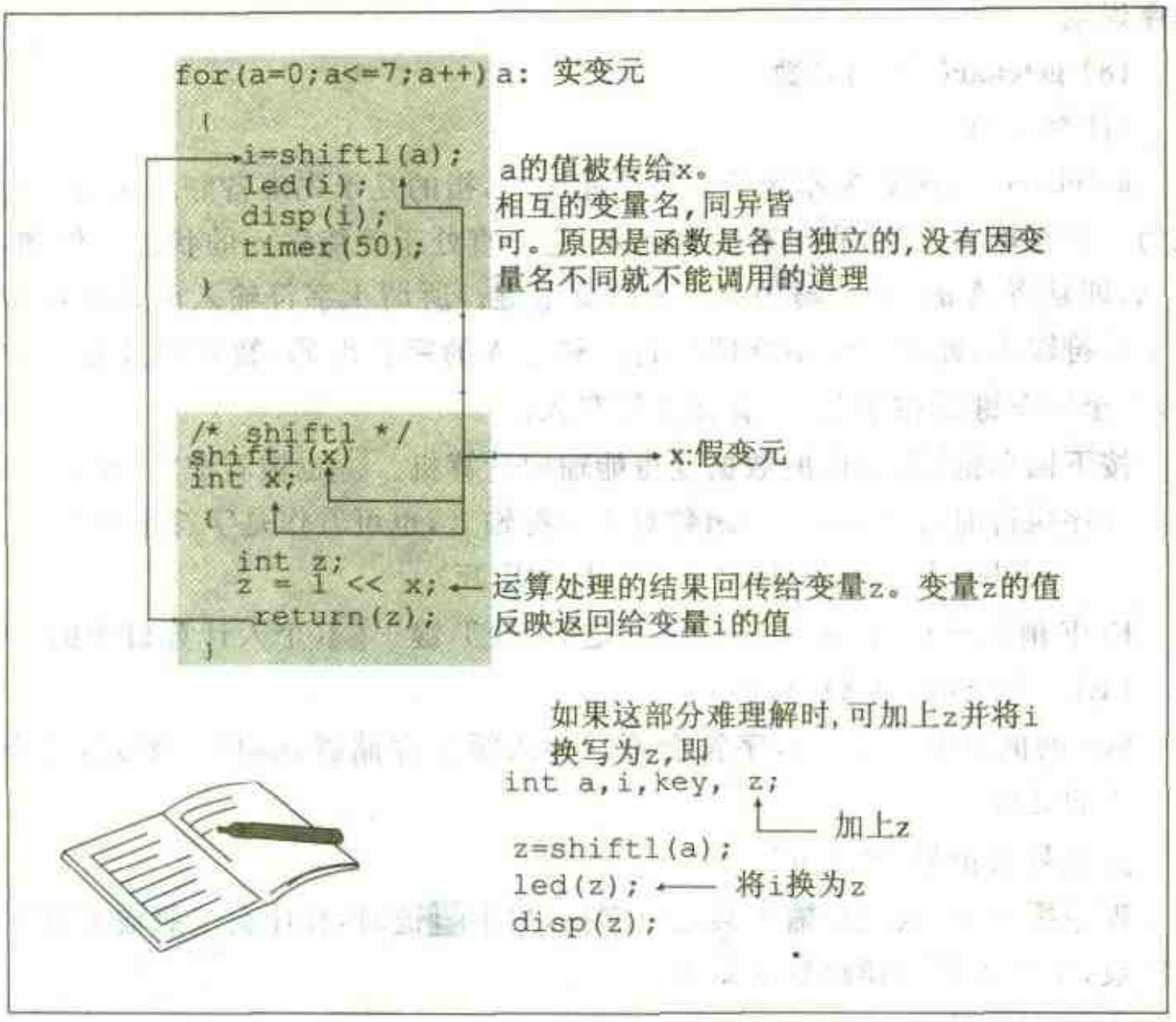
程序执行中,从键盘输入某适当字符,按下↵键时,程序会按照输入键按下的次数,重复进行同样次数的处理。



(9) 实变元、假变元

(注释 * 4)

左移位函数



而且,shiftl(　)函数还有下述写法:

```
/* shiftl() */
shiftl(x)
int x;
{
return( 1<< x);
}
```



●程序的执行

若执行程序,袖珍计算机的屏幕上立即显示:

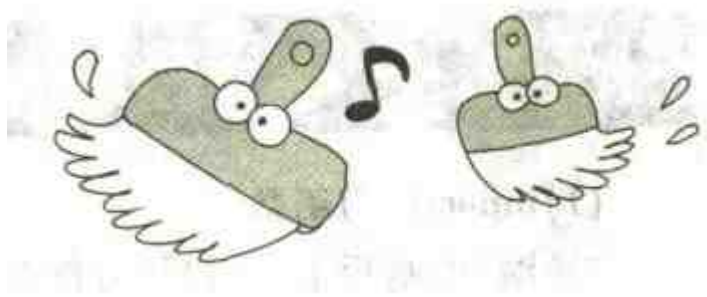
リターン キー ヲPUSH(按回车键)

照此去做,"圆圆"基板上安装的喇叭即会奏出"do remi fa so la si do—do si laso fa mi re do"的音阶。合在一起,袖珍计算机的屏幕上会显示:

1 2 4 8 10 20 40 80

80 40 20 10 8 4 2 1

发出音阶是由于有下述的设定。



```
outport (2,0x22);
```

2 …十六进制数

0010 …二进制数

C口

音阶装置ON

1排8个LED装置ON

1 排 8 位的装置和音阶装置都接在 B 口，所以用 led( )函数，LED 和音阶两者的输出可以兼顾。

```
/ * led () * /                          :LED亮灭函数
led(x)
int x;
{
     outport (1,x);
}                    ← X的值兼顾LED和音阶两者的输出。
```

Ⅲ “圆圆”的 LED 及音阶的停止

为停止 LED 及音阶，只要将 C 口的 0～5 位置为低电平，接于 B 口的装置即被释放。

使用下述语句，LED 的回转闪烁及音阶即被停止。

```
outport (1,0);
```



Ⅳ　C 语言控制基础(输入篇)

(1)inport(　)函数

"转圈"的基板上,A 口被分配为输入口。A 口有 2 组输入,可用 C 口的第 0 位进行切换。

现在考虑,将 8 个按键开关逐一按下,让 1 排 8 个 LED 亮且发出音阶的情况。

必须将外部信号送给袖珍计算机的 CPU。此函数即是 inport(n)函数。该函数为输入输出库函数

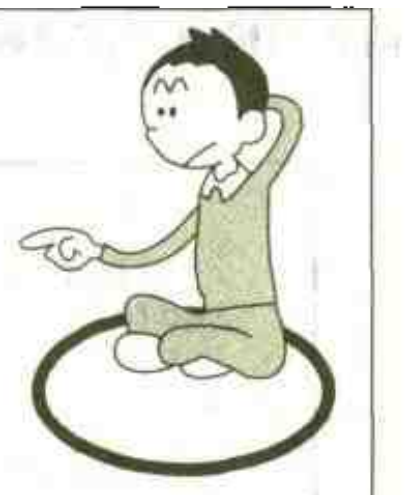
```
a=inport(n);
```

它从 n 指定的 I/0 口读入 1 个字节的数据。具体情况为

```
a = inport( 0 );
```

读入A口的内容
若为B口则为1
若为C口则为2
其有效范围为0～7

将口读入的 1 字节数据(0～255或0～FF)代入变量a



这样,通过 inport(　)函数,从外部读入的 1 字节数据即送给变量。输入了数据的变量由袖珍计算机处理。

练习题 2.3

●编一段程序,在 8 个按键开关按下时,让 1 排 8 个 LED 亮,并同时奏响音阶。并且在 8 个按键开关按下时,将数据显示在袖珍计算机的屏幕上。

使用 inport(n)函数,来进行"转圈"与 Z-1 间的"投接球练习"。inport(　)函数为输入控制函数,袖珍计算机 Z-1 有读入口数据的功能。设

```
a = inport(0);
```

则在 0 口即 A 口读取的值被代入变量 a。若有语句



```
outport(1,a);
```

则按照 inport( )函数读取的 a 值，若装置连接有 LED 及喇叭，则 LED 变亮、喇叭发出音阶。

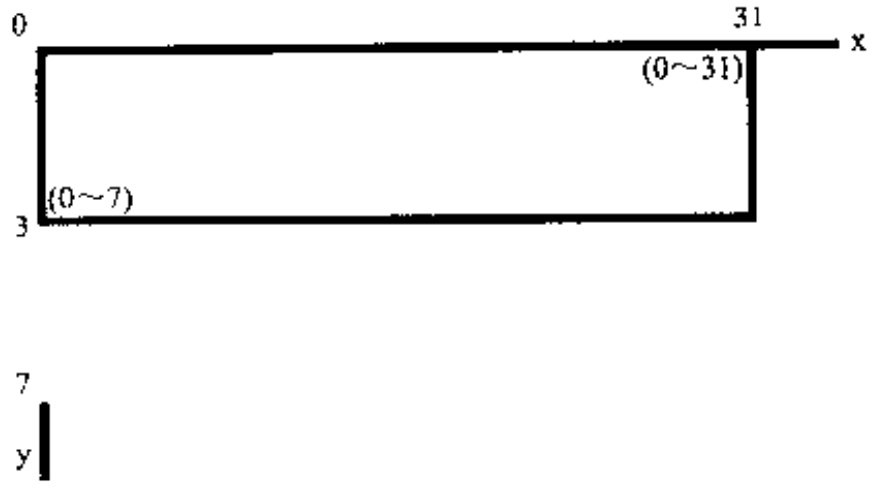
```
/* M·W·R·K.4C */
main()
{
    int a;
    start ();
    outport (2,0x22);

    while(1)
    {
        gotoxy(1,1);printf("PUSH SW 请按某 -开关");
        a = inport(0);
        gotoxy(1,2);printf("十六进制 data 为 0x%02x",a);

        outport(1,a);
        }
    }
start()
{
    clrscr();
    outport (3,0x90);
    outport (2,0x3e);
}
```

(a) gotoxy( )函数

gotoxy(x,y)函数为屏幕控制函数，是用于控制袖珍计算机屏幕显示位置的函数。



练习题 2.4

●编一段程序，在按下按键开关时，由于有音阶发生，与其配合，让袖珍计算机的屏幕上显示"do、re、mi"音阶。（请将程序以编制成函数的形式，做成"f9"文件后附形。）

●程序的编写

```
/ * M • W • R • K.5C * /
main()
{
    int a,i,d1[8];
    char * dat1;
    dat1 = "01020408102040 80";
    start();
    outport (2,0x22);

    for(i = 0;i<7;i ++ ,dat1 += 2)
        sscanf(dat1," % 02x",&d1[i]);

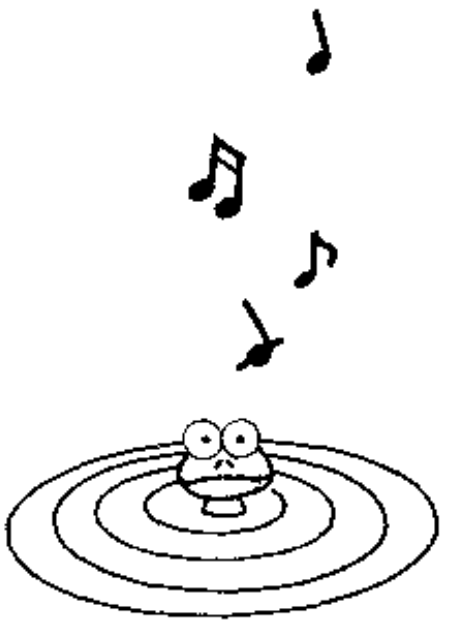
      while(1)
      {
          for(i = 0;i<= 7;i ++ )
          {
            outport (1,d1[i]);
            timer(200);
            outport(1,0);
            timer(300);
          }
```

简单的说明

"do re mi fa so la si do"
是8个数据。
d1[8]是d1矩阵说明，
字符型指针说明
音符数据
dat1=dat1+1

d1[1]=0x01　:do
d1[2]=0x02　:re
d1[3]=0x04　:mi
d1[4]=0x08　:fa
d1[5]=0x10　:so
d1[6]=0x20　:la
d1[7]=0x40　:si
d1[8]=0x80　:do

```
for(a = 0x80;a >= 0x01;a >>= 1)
            {
              timer(200);
              outport(1,a);
            }
            timer(200);
            outport(1,0);
            timer(500);
          }
}
start()
{
     clrscr();
     outport (3,0x90);
     outport (2,0x3e);
}
timer(t)
int t;
{
     int k;
     for(k = 0;k<t;k++);
}
```



●**程序的说明**

(b) 矩阵说明

```
int a,i,dl[8];                    dl[8]是名为 dl 的矩阵说明,准备有 8 个箱
                                  子放"do re mi fa so la si do"8 个数据。
char *datl;                       字符型指针说明,datl 的 * 为指针标记。

datl = "0102040810204080";        指针表示被存储变量的字头。
                                    01:"do",02:"re",04:"mi"
                                    08:"fa",10:"so",20:"la"
                                    40:"si",80:"do"十六进制数据
```

(c) scanf(　)函数与 sscanf(　)函数

dat1++2 是 dat1=dat1+2 的意思，是 C 语言独特的表达方法。

```
for(i=0;i<=7;i++,dat1 +=2)
    sscanf(dat1,"%02x",&d1[i]);
```

scanf(　)函数是由键盘输入，

sscanf(　)函数是由缓冲器输入。

sscanf(　)函数中的 dat1 的数据要两个字一组代入 &d1[i] 中，即，将 dat1 的数据两两分开，代入 d1 准备好的 8 个箱子中。



练习题 2.5

●编一段程序，使用 gotoxy(　)函数在屏幕上显示：

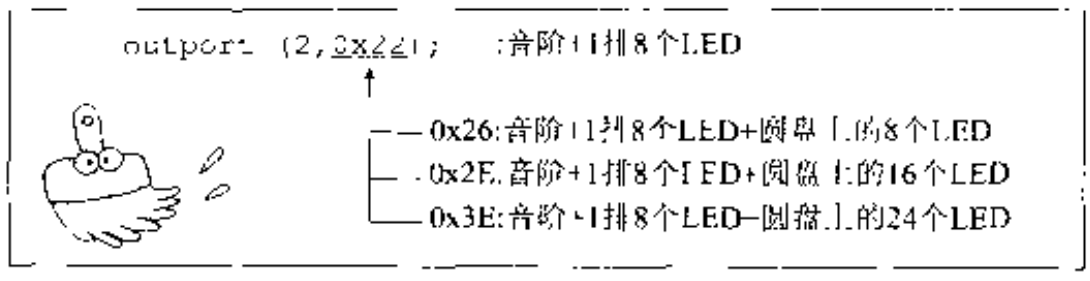
8コノPUSH SWノドレカヨオシテクダサイ(请按 8 个 PUSH SW 的某 1 只)

ソノトキノ16シンdata，%02xデス(此时的十六进制 data 为%02x)

```
#include "f9"
/ * text3.c * /
main()
{
    int a;
    clrscr();
    start();
    outport (2,0x22);              ;音阶和 1 排 8 个 LED
    while(1)
    {
      gotoxy(1,0);printf           ("请按 8 个 PUSH SW 的某 1 只 \ n");
      gotoxy(1,1);printf           ("此时的十六进制 data 为%02x",a);
      led(pushsw());
    }
}
```

●程序的说明

"F9"的文件中，要有新函数：push sw()函数的添加程序语句。



输出给 C 口的数据进行上述变更后，会连接上与之相应的装置。

mawaru1.c 程序中，修改 outport(2,0x22)的数据部分，即可对各种装置的连接进行确认。请按此去做。

(d) led(pushsw())函数

led( )函数中，pushsw( )函数变成了自变量。即用 pushsw( )函数读入 A 口的数据，再将此数据作为自变量传给 led( )函数。

led( )函数是输出给 B 口的函数，因而会输出 LED 和音阶两方面。

"f9"文件的最后补充的程序语句为

```
/* pushsw() *                    :按开关函数
pushsw()
{
return(inport (0));          :读入 A 口的值
}
```

构造 pushsw()函数。按下 A 口上的按键开关时，其值用 inport()函数读入。可见，pushsw()函数是按下按键开关时读取 A 口值的函数。

```
/* start() */
start()                      :初始设定函数
{
    outport (3,0x90);
    outport (2,0x3E);
}
/* timer () */                :定时函数
timer(t)
int t;
{
    int k;
    for (k = 0;k<=t;k++);
```

```
}
/* led() */                    :LED亮灭函数
led(x)
int x;
{
    outport(1,x);
}
/* disp() */                   :袖珍计算机显示函数
disp(d)
int d;
{
    int i;
    printf("%2x",i);
}
/* shiftl */                   :左移位函数
shiftl(x)
int x;
{
    int z;
        z = 1≪x;
        return(z);
}
/* shift(x) */                 :右移位函数
shiftr(x)
int x;
{
    int z;
    z = 0x80 ≫ x;
    return(z);
}
```



(e) sound()函数

编写 sound()函数。此函数为按下按键开关后，显示“do”、“re”、“mi”并奏

响音阶的函数。此函数中，使用 C 语言的 switch～case 语句。

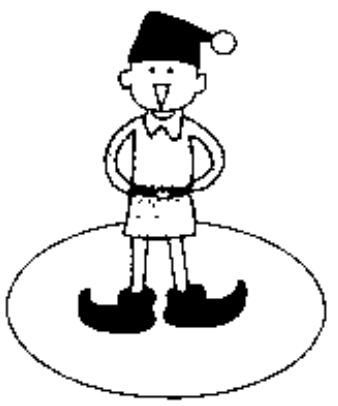
(f) switch～case 语句

switch～case 语句用于多分支的场合。

switch 语句是将无()的式子的值拿来和全部 case 进行比较。每种情况都用整数或文字常数标以标记。比较结果一致时，控制移向相应的 case 语句。所谓 default 语句，是用于对照各种 case 语句，不一致时进行处理。

要从 switch～case 语句中移出时，使用 break 语句。

```
/* sound() */
sound(i)
int i;
{
    int j;
    switch(i){
            case 0x01:printf("\n其音阶为"do"\n");
            break;
            case 0x02:printf("\n其音阶为"re"\n");
            break;
            case 0x04:printf("\n其音阶为"mi"\n");
            break;
            case 0x08:printf("\n其音阶为"fa"\n");
            break;
            case 0x10:printf("\n其音阶为"so"\n");
            break;
            case 0x20:printf("\n其音阶为"la"\n");
            break;
            case 0x40:printf("\n其音阶为"si"\n");
            break;
            case 0x80:printf("\n其音阶为"do"\n");
            break;
            defalt:i = 0;
        }
        outport(1,i,);
}
```



V　音阶变化的同时让 LED 旋转

练习题 2.6

●编制音阶变化的同时让 LED 移动的程序。

将音阶数据当做矩阵来处理。

```
#include "f9"
/* text4.c */
main()
{
    int a,i,d1[8];                    :d1[8]为一维矩阵说明
    char *dat1;
    dat1 = "01020408102040 80";       :音阶数据
    start();
    outport (2,0x22);
    for(i = 0;i<= 7;i ++ ,dat1 += 2)
    sscanf(dat1," %2X",&d1[i]);
    while(1)
    {
        for (i = 0;i<= 7;i ++ )
        {
            led(d1[i]);
            disp(i);
            timer(200);
            outport (1,0);
            timer(500);
        }
        printf(" \ n");
        for (a = 0;a<= 7;a ++ )
        {
            i = shiftr(a);          :原样利用右移位函数
            timer(20);
            led(i);
        }
    }
}
```



●程序的说明

(a) 一维矩阵

dl[8]是 C 语言的一维矩阵，使用的不是()而是[]。

for()是表示循环控制型的重复处理，i 值从 0 到 7 逐渐变化。

dat1 += 2 的含义是 dat1 = dat1 + 2，是 C 语言中特定的算子。

sscanf()，如果说 scanf()是指键盘输入，则 sscanf()为由缓冲器进行数据的输入输出。

& dl[i]的 & 称为地址算子，用于显示存储数据的存储器的地址值。

(b) "*"与"&"的区别

"*"表示指针，用于指示存有数据的存储器的头地址。

"&"则为存有数据的存储器的地址。

练习题 2.7

●通过种种方法已经明白了音阶的产生过程，试着来演奏一支曲子。试用单纯数据来演奏贝多芬的"欢乐颂"。

```
#include "f9"
/* text5.c */
main()
{
    int i,dl[65],key;
    char *dat1;
    dat1 = "0404081010080402010102040402020404081010080402010102
          0402010102020401020408040102040804020120010404081010
          0804020101020402010l";
  clrscr();
  start();
  outport (2,0x22);
  for(i = 0;i <= 61;i++,dat1 += 2);
  sscanf (dat1,"%2X",&dl[i]);
  printf("hit anykey \ n");
  while(key = getch() ! = EOF)
  {
       clrscr();
```

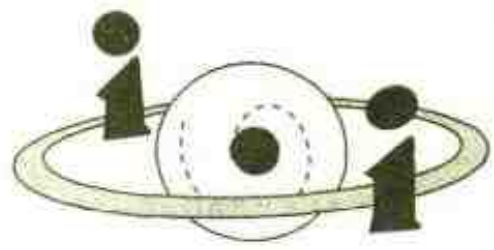
```
        printf("欢乐颂 \ n");
        for (i = 0;i<= 61;i ++ )
        {
            led(d1[i]);
            timer(50);
            outport (1,0);
            timer(50);
        }
    }
```



Ⅵ　C 语言编程技巧

练习题 2.8

●考虑下述问题的编程：让圆形排列的 24 个 LED 顺序闪烁，方向按顺时针，速度按 timer() 函数 120 的快慢，并同时反复演奏"do re mi fa"音阶。



```
/ * M • W • R • K.C2 * /   以此程序为参考
main()
{
    int i,k;
    clrscr();

    outport (3,0x90);
    outport (2,0x3e);      初始设定
    outport (2,0x3c);      有关 24 个圆形排列的 LED 的初始设定
    while(1)                                    ……循环重复处理
    {
      for(i = 0x01;i<= 0x80;i<<= 1)             …将 i 值逐位左移
      {
        outport(1,i);                           …LED 的亮灭随 i 变化而异
        for(k = 0;k<= 50;k ++ );                …LED 亮的时间短
      }
    }
}
```

于中有"圆圆"录像带的，请参考录像教材训练来考虑程序的编制。

```
  * M * W * R * K.6c * /
main()
{
    int i,p,p1;          i;用于 LED 及音阶 一个一个移动的变量
    clrscr();            p;为使 24 个 LED 3 个 一组接力闪烁的变量
    start();             p1;使音阶与 LED 时序吻合的变量
    while(1)
    {
        for(p = 0x04;p <= 0x10;p <<= 1)   3 组 24 个 LED 每 1 的移动
        {
          p1 = (p|0x20);              音阶与 LED 的闪烁同时进行
          outport (2,p1);
          for(i = 0x01;i <= 0x80;i <<= 1)      8 个 LED 顺序闪烁
          {
            outport(1,i);
            timer(120);
          }
          outport(1,0);
        }
    }
}
/ * start() * /
start()
{
    outport (3,0x90)
    outport (2,0x3e);
}
/ * timer() * /
timer(t)
int t;
{
    int k;
  for (k = 0;k<t;k + + );
}
```

●程序的说明

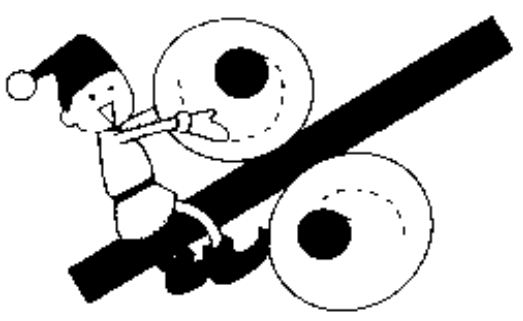
(a) C 语言的 OR 算子

```
for(p = 0x04;p  = 0x10;p = 1)
```

1 位 1 位移动，圆形排列的 LED 3 组 8 位的装置序号即为 0x04、0x08、0x10。

```
pl = (p : 0x20);
```

将音阶装置与圆形排列的 LED 的每一装置按 OR 求和。



```
pl = 0x04 OR 0X20.....0x24
pl = 0x08 OR 0X20.....0x28
pl = 0x10 OR 0X20.....0x30
```

pl 值的这种变化即是 C 语言中 OR 算子 : 作用的结果。

练习题 2.9

●圆形排列的 LED 闪烁和音阶发生的速度随定时器延时量而变化。作一段程序，从键盘输入定时数值，来观察速度的变化。



```
/ * text6.c *
main()
{
    int i,p,pl,t,key;
    clrscr();
    start();
    printf("按回车键 push \ n");
    while(key = getchar() !  = EOF)
    {
    printf("定时器设定 1000 以下数值 \ n");scanf(" % d",&t);
        for(p = 0x04;p = 0x10;p  = 1)
        {
            pl  = (p : 0x20);
            outport (2,pl);
            for (i = 0x01;i  = 0x80;i = 1)
        ;
            led(i);
```

```
            disp(i);
            timer(t);
        }
        printf(" \ n");
        outport (1,0);
        }
    }

/ * start() * /                    :初始设定函数
start()
{
    outport (3,0x90);
    outport (2,0x00);
}
/ * timer () * /                   :定时函数
timer(t)
int t;
{
    int k;
    for (k = 0;k < t;k ++ );
}
/ * led () * /                     :LED 闪烁函数
led(x)
int x;
{
    outport (1,x);
}
/ * disp() * /                     :袖珍计算机显示函数
disp(d)
int d;
{
    int i;
    printf(" % 2x",i);
}
```





Z-1 机中由 40 针插卡连接器进行控制

作为来自 40 针插卡连接器的 PPI 板，有“宽宽”Z-30 接口板。

此时，由于其与杜邦公司制造的 30 针扩展连接器的地址不同，即使按本教科书的程序原样进行执行也不动作。请按以下所示改写部分程序后再执行(参见 p. 36)。

(1) C 语言的情况下

增加 →

```
outport(0x90,0x300,2);
outport(0x92,0x408,2)
```

← 将此部分放在程序的前头

```
outport(3,0x90);→ outport(323,0x90);
outport(2,0x3e);→ outport(322,0x3e);
outport(2,0x22);→ outport(322,0x22);
```

作这样的更改

```
inport(0);→ inport(320); 改为后者
```

来自杜邦制30针扩展连接器的信号时的0～3地址应作如下变更：

0 → 320
1 → 321
2 → 322
3 → 323

(2) BASIC语言的情况下

初始设定时为：

```
OUT &H90,&H300,2
OUT &H92,&H408,2
```

因此请将OUT &H3,&H90改为OUT &H323,&H90。
余类同。

0 → 320
1 → 321
2 → 322
3 → 323

详细情况请参见本书P.30“40针插卡连接器”。

3 LED闪烁的缓慢停止

控制板上，除掉8个按键开关外，还装有两个拨钮开关。此前，讲述了LED的各种闪烁以及伴随闪烁的音阶的程序。本章节介绍停止LED闪烁的程序。

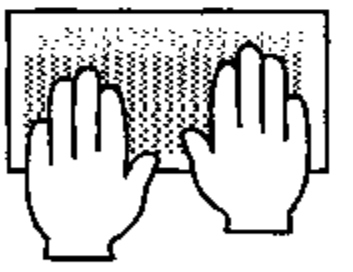
若要突然停止LED的闪烁，只要停止来自袖珍计算机的信号即可，非常简单。这里介绍LED闪烁缓慢停止的方法以及与以前不同的闪烁。

学习C语言的乐趣，在于稍用技巧即可得到有趣的程序。另外，本节末附有用BASIC语言进行控制的程序。其程序编制成与本书中的C语言程序几乎相同的控制形态。

学习BASIC语言，也借鉴学习C语言的方法。

I 利用拨钮开关关掉(OFF)LED的闪烁

下面来试拨钮开关ON时LED闪烁停止、拨钮开关OFF时LED闪烁再度开始的程序。



用拨钮开关切换控制装置时，要将C口的第0位置“ON”。即将下述语句写入程序。

```
outport (2,0x01);
```

练习题3.1

●编一段程序，让圆形排列的24个LED顺序闪烁，方向为顺时针旋转，速度按timer()函数120的快慢，并重复演奏斗来米发音阶，用拨钮开关ON中止LED的闪烁，用拨钮开关OFF再让LED闪烁起来。

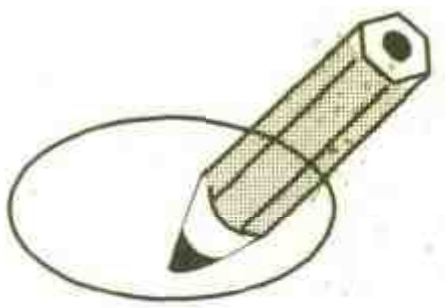
```
/ *M·W·R·K.7c*/
main()
{
    int i,p,pl,sw;          ····  变量p为A.B.C3个口切换用,
    clrscr()。                    变量p1对应各口的控制装置。
    start()
    while(1)
    {
        for(p=0x04;p<=0x10;p <<= 1)
        {
            pl = (p|0x21);
            outport (2,pl);                    参见表11(p.42),亦可这样写
            for (i=0x01; i <= 0x80;i <<= 1)
            {
            if (inport(0))                     sw = inport (0);
            break;                             if (sw == 1){ break;}
            outport(1,i);
/*          disp(i);*/          (a) if( )语句
            timer(120);         拨钮开关起关断作用。inport(0)的值为
          }                     1时LED灭,inport(0)的值为0时,与未
          outport(1,0);         按拨钮开关的状态相同,LED继续回转
        }
    }
}
/* start() */                              :初始设定函数
start()
{
        outport (3,0x90);
}       outport (2,0x3e);
/* timer () */                             :定时函数
timet(t)
int t ;
{
    int k;
    for (k=0; k<t ;k++);
}
/*  disp() */                              :柚珍计算机显示函数
disp(d)
int d;
{
   int i;
   printf("%2x",i);
}
```

0x21 的含义

0x21 的含义，遵从表 1.11(p.42)如下：

拨钮开关侧装置切换 ON…0x01
＋） 喇叭侧装置切换 ON…0x20
0x21

此状态下变量 p 的变化取 0x04、0x08、0x10 三种状态。这是 24 个 LED 分成 3 组 8 个 LED 1 组 1 组顺序进行切换。因而变量 pl 的变化是：



0x21	0x21	0x21
＋) 0x04	＋) 0x08	＋) 0x10
0x25	0x29	0x31

因此，LED 顺时针旋转闪烁，且奏出音阶。
打开(ON)拨钮开关，LED 的闪烁立刻停止。

Ⅱ “圆圆”的减速

“圆圆”停止时，能不能使其更安静、更平稳、更优雅地停止？只要在定时函数的自变量上下功夫好像总能办到。

练习题 3.2

●编一段程序，让圆形排列的 24 个 LED 顺序闪烁，方向为顺时针，速度按 timer()函数 120 的快慢，反复奏 do re mi 音阶，通过开(ON)拨钮开关使 LED 的闪烁渐渐减速至停止，再通过关(OFF)拨钮开关让 LED 的闪烁动起来。

```
/*M·W·R·K.8c*/
main()
{
    int i,p,pl,j;
    clrscr();
    start();
    while(1)
    {
        for(p=0x04;p<=0x10;p<<=1)
```



```
        {
            p1 = (p|0x21);
            outport(2,p1);
            for(i = 0x01;i<= 0x80;i<<= 1)
            {
            outport(1,i);
            if (inport(0)) timer(j++);
            else                    拨钮开关一开(ON),j 的值不断 + 1,
            {
                timer(2);           拨钮开关关(OFF)时,LED 按 timer(2)
                                    的速度继续闪烁。
                j = 0;
            }
            disp(i);
        }
      outport (1,0);
    }
  }
/* start() */
start()
{
    outport (3,0x90);
    outport (2,0x3E);
}
/* timer () */
timer(t)
int t;
{
    int k;                          对定时器下边夫定时器的极限
    for (k = 0;k<t * 5;k++);
    if(t>= 32)
    {
        while(inport (0))
```

```
        {
            gotoxy(1,2);printf("SW 复位");
        }
    }
    clrscr();
}
/* disp() */
disp(d)
int d;
{
    int i;
    printf("%2x",i);
}
```



Ⅲ C 编程的其他

练习题 3.3

●编写"圆圈"反时针方向旋转的程序。

```
/* text7.c */
main()
{
    int i,p,p1;
    clrscr();
    start();
    while(1)
    {
        for(p = 0x10;p>= 0x04;p>>= 1)
        {
            p1 = (p|0x21);
            outport(2,p1);
            for (i = 0x80;i>= 0x01;i>>= 1)
```

```
                {
                if (inport (0))
                break;
                outport(1,i);
                 disp(i);
                timer(80);
                }
                outport(1,0);
            }
        }
}
/* start() */
start()
{
    outport (3,0x90);
    outport (2,0x3e);
}
/* timer () */
timer(t)
int t;
{
    int k;
    for (k = 0;k<t;k++);
}
/* disp() */
disp(d)
int d;
{
    int i;
    printf("%2x",i);
}
```



练习题 3.4

●编写 LED 两两闪亮的程序

```
/* text8.c */
main()
{
    int i,p,p1,j;
    clrscr();
    start();
    while(1)
    {
        for(p=0x04;p<=0x10;p*=4)
        {
          p1=(p|0x21);
          outport(2,p1);
          for(i=0x01,j=0x02;i<=0x80,j<=0x80;i*=2,j*=2)
          {
            if(inport(0))
            break;
            i=i|j;
            outport(1,i);
/*           disp(i);*/
            timer(80);
          }
          outport(1,0);
        }
    }
}
/* start() */
start()
{
    outport(3,0x90);
    outport(2,0x3e);
}
```

```
/* timer () */
    timer(t)
int t;
{
    int k;
    for (k = 0;k<t;k++);
}
/* disp() */
disp(d)
int d;
{
    int i;
    printf("%2x",i);
}
```

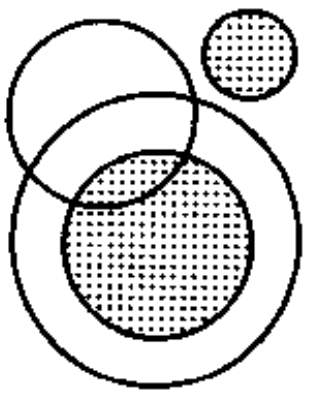


练习题 3.5

●编写 LED 随机闪烁的程序。

```
/* text10.c */
main()
{
    int i,p,p1,j;
    clrscr();
    start();
    while(1)
    {
        for(p = 0x04;p<= 0x10;p = 1)
        {
          p1 = (p : 0x21);
          if(inport(0)){break;}
            outport(2,p1);
            for(i = 0x01;i<= 0x80;i = 1)
            {
```

```
            i = i : 0x07;
            outport(1,i);
            timer(20);
          }
            for(i = 0x80;i>= 0x01;i>>= 1)
            {
                i = i - 7;
                outport(1,i);
                timer(20);
            }
            outport(1,0);
          }
    }
}
/ * start() * /
start()
{
    outport (3,0x90);
    outport (2,0x3e);
}
/ * timer () * /
timer(t)
int t;
{
    int k;
    for (k = 0;k<t;k++);
}
```

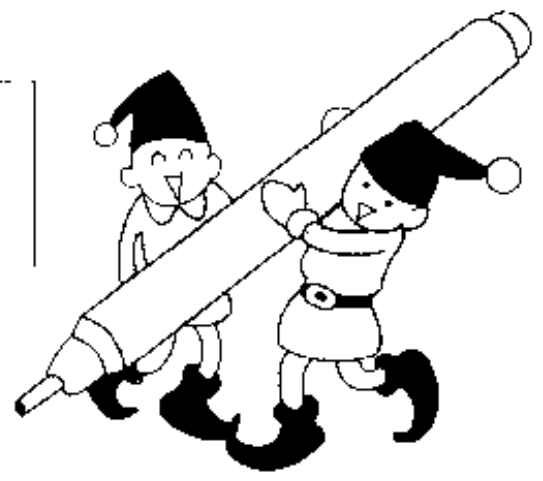


Ⅳ BASIC 语言的控制

仅用 C 语言的编程稍显不足，因此这里来试试让“圆圆”动作的 BASIC 语言的编程。

程序执行时，袖珍计算机的屏幕上即显示：

```
x x * 圆圆 * * *
0:QUIT 1:PB-LED 2:声音 3:转轮
4:拨钮 SW
```



其中，0：程序结束

1：初等生"圆圆"的 LED 的闪烁

2：初等生"圆圆"的 LED 和音阶

3："圆圆"的旋转

4：拨钮开关对"圆圆"的控制

输入各自的序号，确认程序的工作。

```
10 ' x x 圆圆 * *
20 OUTPORT 3,&H90
30 OUTPORT 2,&H3F
40 CLS:PC = 0:PB = 0
50 PRINT " x x x 圆圆 * * * "
60 PRINT "0:QUIT 1:PB-LED 2:声音 3:转轮"
70 PRINT "4:拨钮 SW"
80 K$ = INKEY$ :IF K$ = " THEN 80"
90 IF K$ = "0" THEN 150
100 IF K$ = "1" THEN 190
110 IF K$ = "2" THEN 340
120 IF K$ = "3" THEN 500
130 IF K$ = "4" THEN 820
140 BEEP 1:BEEP0:GOTO 10
150 OUTPORT 1,0
160 OUTPORT 2,&H3E
170 CLS:PRINT " x * 您辛苦了 * * "
180 END
190 'PB-LED
200 CLS
210 PRINT " x * * PB-LED * * x "
220 PRINT "请按 PUSH SW"
```

```
230 PRINT "用[0]回车"
240 PC = PC AND &HFE
250 OUTPORT 2,PC
260 PA1 = INPORT(0):PC = PC OR 1
270 PC = PC OR 1
280 K$ = INKEY$ :IF K$ = "0" THEN 40
290 OUTPORT 2,PC
300 OUTPORT 2,&H3E
310 PA2 = INPORT(0)
320 OUTPORT 1,PA2
330 GOTO 260
340 '
350 CLS
360 PRINT " * * * 声音 * * * "
370 PRINT "用[0]回车"
380 OUTPORT 2,&H3E
390 FOR I = 0 TO 7
400 Y = 2^I
410 K$ = INKEY$ :IF K$ = "0" THEN OUTPORT 2,&H3E:GOTO 40
420 OUTPORT 1,Y
430 FOR T = 0 TO 1000:NEXT
440 NEXT I
450 FOR I = 7 TO 0 STEP - 1
460 Y = 2^I
470 OUTPORT 1,Y
480 NEXT I
490 GOTO 380
500 'MAWARU
510 CLS:CLEAR
520 RPINT"圆圆的轮盘回转"
530 PRINT"用[0]回车"
540 EE = INT(800 * RAN#) + 100
550 P = 2
560 FOR K = 1 TO 3
```



```
570 K$ = INKEY$ : IF K$ = "0"THEN OUTPORT 2,&H3E:GOTO 40
580 P = P * 2
590 P = P OR &H20
600 OUTPORT 2,P
610 DT = 1
620 DT = DT OR DD
630 S = 1
640 OUTPORT 1,0
650 OUTPORT 1,S:' OR &H55
660 K$ = INKEY$ : IF K$ $ = "0" THEN OUTPORT 2,&H3E:GOTO 40
670 FOR T = 0 TO DT:NEXT
680 S = S * 2
690 IF S>128 THEN OUTPORT 1,0:GOTO 730
700 '
710 DT = DT + 10:DD = DT
720 IF DT<= = EE THEN 650 ELSE 760
730 NEXT K
740 GOTO 550
750 '
760 OUTPORT 1,S
770 FOR W = 0 TO 2000:NEXT W
780 OUTPORT 2,&H3E
790 OUTPORT 1,0
800 PRINT "END"
810 GOTO 40
820 'toggle sw
830 CLS:CLEAR
840 OUTPORT 2,&H3E
850 PRINT " * * 请 ON-OFF 拨钮 SW * * "
860 OUTPORT 2,&H01
870 T = INPORT (0)
880 LOCATE 1,1:PRINT"拨钮 SW 的状态为";T
890 LOCATE 1,2:PRINT"PUSH 0 RETURN"用按"0 "回车
900 K$ = INKEY$ : IF K$ = "0" THEN 40
```

```
910 OUTPORT 2,&H02
920 IF T = 1 THEN OUTPORT 1,&H0F
930 IF T = 2 THEN OUTPORT 1,&HF0
940 IF T = 3 THEN OUTPORT 1,&H00
950 GOTO 860
```



V 主程序的说明

10～40 行:初始设定

50～60 行:袖珍计算机的屏幕显示

70～140 行:处理内容的选择

0 号:程序结束　150～180 行

1 号:1 排 8 个 LED 的控制　190～330 行

2 号:音阶声音　340～490 行

3 号:让“圆圆”成为赌轮盘　500～810 行

4 号:用拨钮开关的 ON、OFF 控制 1 排 8 个 LED 的闪烁变化　820～950 行

VI “圆圆”赌轮盘的程序说明

540:产生随机数

580:定义 P=4,8,16(&H04,&H08,&H10)

590:圆形排列的 LED 的 8 位口与音阶装置的连接

610:定时器初始设定为 1

620:定时器 DT 和 DD 不作“或”时,定时循环返回时不减少。

630:移动的初始设定

650:LED 和音阶发生

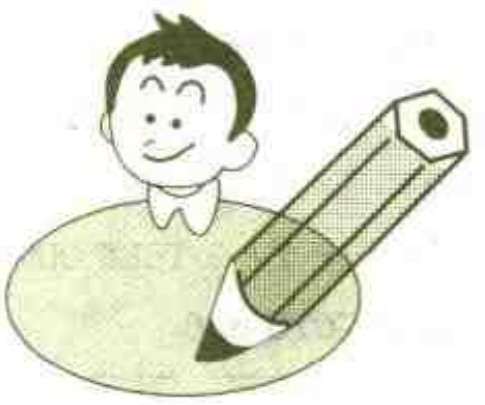
670:定时

680:向左移动

710:定时的瞬时值

720:定时值的累积与随机数数量的比较

760:停止时 LED 亮
770:2000 次循环间,LED 闪烁和音阶发生
790:OFF



Ⅶ 拨钮开关的 ON、OFF

860:切换到拨钮开关
870:读取输入



致 读 者

"圆圆"和C语言编程的学习如何?
学过一通后,不是有如下的感觉吗?

袖珍计算机有趣!
C语言是便利的语言!
控制,一试很简单!

体验过"圆圆"控制的各位与本书的读者,以及观看过控制录像带的各位:

进一步做一些不同的事情试一试!
例如:①做一些与此不同的其他控制
② 用非C语言的语言编程
③ 更深入地运用C语言
④ 制作40针卡边的接口板等等

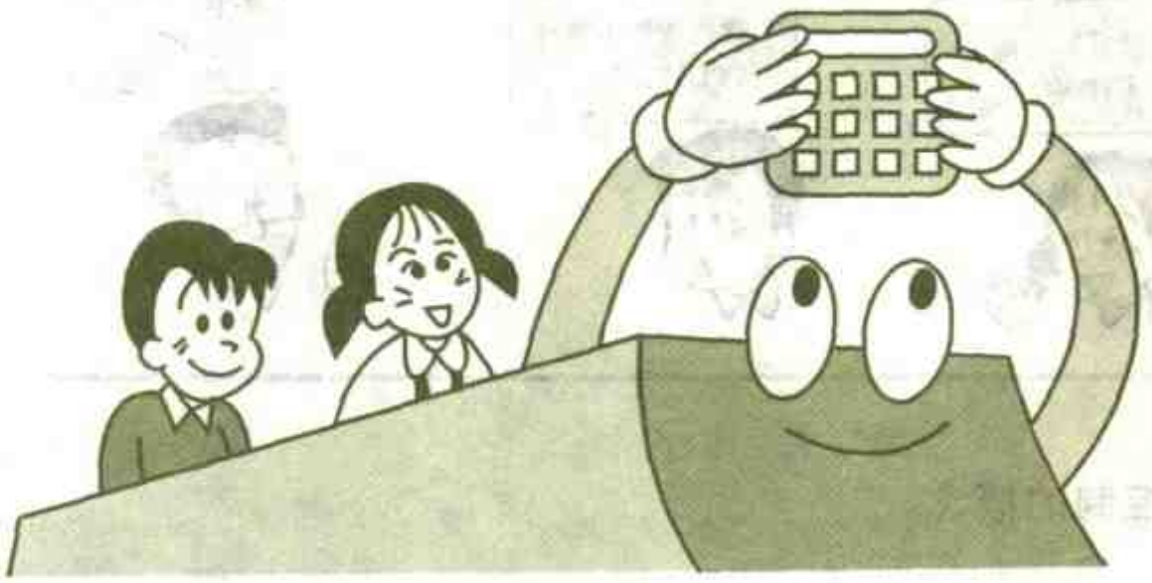
如能萌生一些新鲜的感觉,定能增强实践的动力。

相信许多人(哪怕是1个人),对于自己的与前不同的发现都会感到异常喜悦。

小野上冢 纯夫

第3章

计算机控制基础



本章学习内容

计算机控制需要分几个步骤进行。每一步的操作并不困难,只要实际操作过,很快就能自如地运用。每一步骤的内容将在第4章按顺序介绍。

本章在学习每一控制步骤之前,先来学习使用单板机的计算机控制基础知识。

例如,想用微机控制机器人时,要按什么顺序进行准备?控制时都需要些什么工具?了解这些即是学习本章的目的。

另外,也要加深理解计算机控制的基本术语。例如,在第4章说明ROM写入器的使用方法,但在本章首先要介绍何为ROM写入器,为什么要使用它。

同样也要介绍理解有关CPU板及程序调试等有关知识。

本章还在充分理解微机控制的顺序概要之后,要对各个步骤进行练习。这样一来,即使是初学者也能轻松愉快地掌握微机控制。

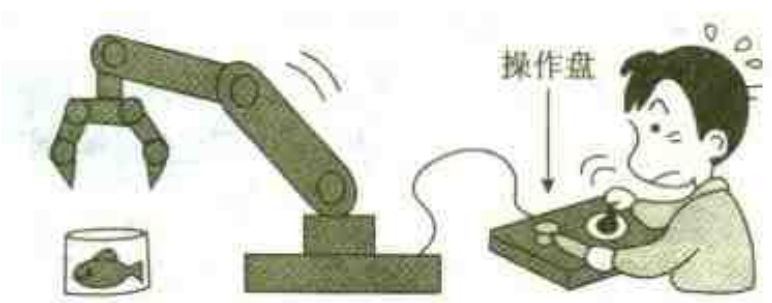
1 微机控制的种类



微机控制的概念

从现在开始学习微机控制，什么是微机控制呢？

假如，要用机械臂从右向左移动罐头，这时就有由人来操作机器人的操作盘使机械臂移动的方法。

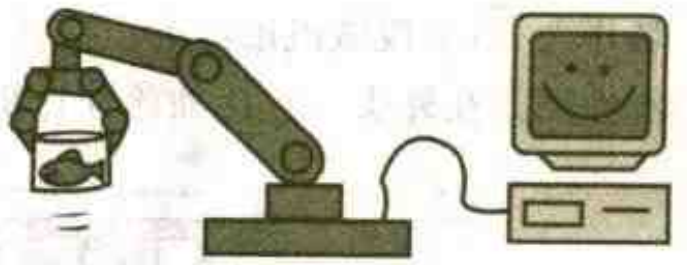


(人工操作)

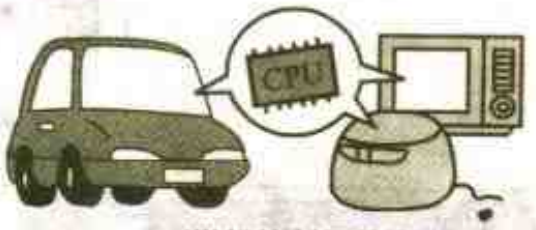
那么，有必要练习机器人操作盘的使用方法，不是吗！

是的。而且，想要机械臂动作时，总要有人来操作。但是如果使用计算机并能将动作的指令传给机械臂的话，就可以自动地控制机械臂。并且，使用计算机一般比人更能正确地操作机械臂。这种使用计算机(微机)对某种对象进行自动控制就称之为微机控制。

用微机控制时，想要改变机械臂移动的方向时，怎么办呢？



(微机控制)



(微机控制很普遍)

只要改变计算机的程序，无论怎么控制机械臂都行。这里，举的是机械臂的例子，实际上除此之外，微机控制还可以用在许多地方。

听说家里的微波炉啦、空调啦等等电器中都装有微机控制。

汽车发动机控制以及安全装置中也利用微机控制。生活中这种利用微机控制的产品很多。

控制用微机

已经明白使用计算机的控制叫做微机控制，可是计算机和微机有什么区别吗？

虽然都叫计算机，但大小不同。研究所等用的超级计算机自不必说，一般家庭开始普及的个人计算机以及掌上电脑也都是计算机的一种。这些计算机中，小型的叫做微机。而用微机对某种控制对象进行控制即为微机控制。



虽然都叫计算机但种类很多

用于控制的微机都有哪些呢？

用于微机控制的计算机分为以下三种。

(1) 个人计算机

个人计算机有台式及笔记本式之分。其优点是操作方便、程序编制及更改容易，但是由于尺寸大而无法装入机器内部，价格也贵。

(2) 袖珍计算机

能够装入口袋那么大的计算机称为袖珍计算机。最近，许多工业技校的学生都在购买个人用袖珍计算机。袖珍计算机价格便宜、操作简单，常常用来进行微机控制。但是，装入机器还仍显过大。

(3) 单板机

在一块印制电路板上构成的简单的计算机称为单板机。单板机常用来学习计算机的基本功能。而且，专门用作微机控制的非常小型的(印制电路板只有

名片大小)单板微机市面上也有出售。这种控制用单板机不带键盘及显示器,元器件都露在外头。它比袖珍计算机价格更低,由于其尺寸小适合装入机器内部。





使用个人计算机及袖珍计算机的控制中,要另外准备称为接口板的电路。而在控制用单板机中,接口电路是预先内置其中的,因而可以一体使用。但是,初次处理好像较难,初学者以先不用为宜。



装入机器中的微机控制部分,使用控制用单板机是最适宜的啦。





是的。但是很遗憾,很多人因为在观念上的先人为主,觉得单板机难用而一般不太使用。即使在工业技校的微机控制课程中,一般也使用袖珍计算机。理解控制用单板机的优点、掌握其使用方法,是本书的目的。

例如,在本书后部讲到的机器人相扑比赛中,机器人的重量规定最大不超过3kg。有此限制,想制作强有力的机器人时,就只能使用控制用单板机。



一旦掌握使用方法，使用控制用单板机的控制也一定非常有趣。

用于微机控制的 CPU



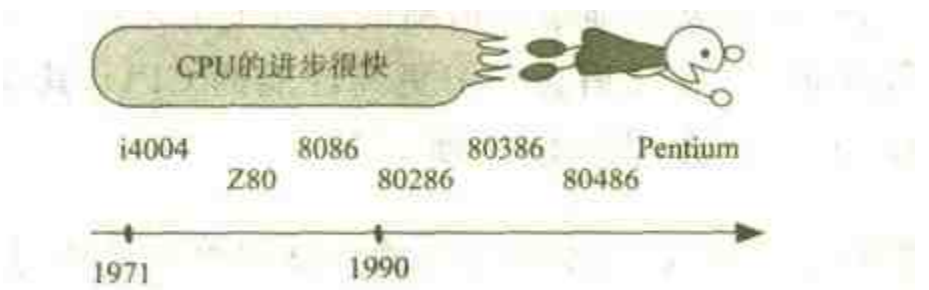
你们知道 CPU 吗？



知道。CPU 就是 Central Processing Unit(中央处理装置)的缩写。它是计算机中进行运算及控制的重要核心部分。



是的。说 CPU 的进步就是计算机的进步一点也不过分。从 1971 年美国 Intel 公司推出 i4004CPU 开始，许多厂商陆续推出了多种 CPU。现在成为主流的高性能的 CPU 有 80486、奔腾、Power-PC 等。





微机控制中也用这种高性能的 CPU 吗？

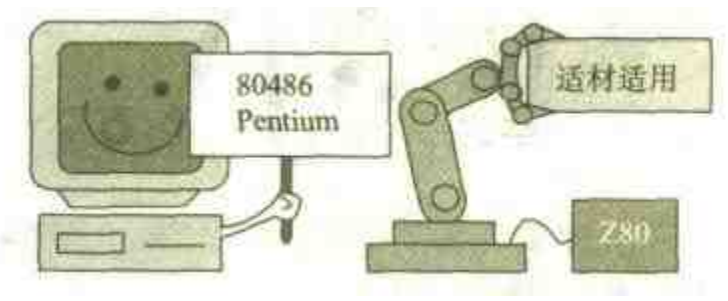
高性能 CPU 的最大特点是处理速度极快。回想一下前面的机械臂的例要让机械臂作眼睛都跟不上的高速运动，即使从机械臂的性能来讲也是不可能的。



总之，一般的微机控制中，现在成为主流的超高速的 CPU 并不必要吧。



是的。微机控制中经常使用的 CPU 是 Z80 及 M6809。Z80 是美国的 Zilog 公司 1975 年开发的 CPU，用于现在的个人计算机力量不足，但用于通常的微机控制还是绰绰有余。





Z80 是 20 多年前推出的 CPU，现在还能方便地得到吗？



不必担心。现在日本的许多厂商还在制造出售具有与 Z80 同样规格的 CPU。虽然 Z80 开发的相当早，但在微机控制领域，即使现在，Z80 还在积极地工作。采用 Z80 的控制用单板机市面上销售的也很多。所以，本书介绍

使用 Z80 的微机控制。





使用很早以前开发的 CPU 来学习不会白费劲吧？



绝对不会。从理解 CPU 的观点来考虑，了解了 Z80 就了解了 CPU 的基本东西。与一开始就立即学习最新的高性能的 CPU 相比，还不如在切实了解 Z80 这种简单的 CPU 之后再学习更高性能的 CPU，其学习效果更好。总之，Z80 的了解是了解新型 CPU 的基础。



后面的课程，是使用采用 Z80CPU 的控制用单板机学习一些控制方法吧？





是的。有关要用的控制用单板机，放在后面说明。控制用单板机上没有键盘及显示器等，所以在控制的准备阶段，要借用个人计算机的帮助。当然最终还是只用一块控制用单板机，来实行对对象机器的控制。



练习题

1. 用于微机控制的典型计算机都有哪些种类？
2. 使用控制用单板机都有哪些优点？

解答

1. 个人计算机、袖珍计算机、单板机。
2. 小型、可装入机器内部、廉价、接口电路内置。

2 微机控制的实例



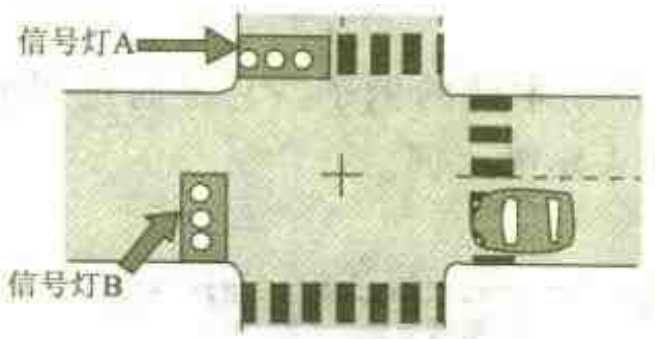
信号灯的控制

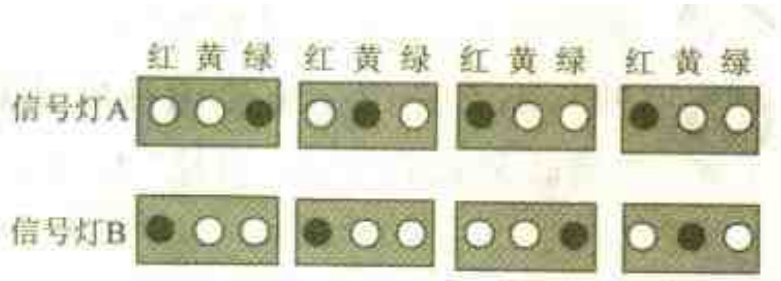


试想一下十字路口。指挥交通用信号灯 A 与 B 的工作情况是怎样的呢?



在第一组中信号灯 A 为亮绿时,信号灯 B 必须亮红。出于这种考虑,信号灯 A 与 B 的工作状态对应如下:





信号灯的工作



要让这些信号灯工作可以利用微机控制。



右图为使用个人计算机对信号灯的模型进行控制的例子。



信号灯模型控制



电梯示意图

电梯的控制

下边来看电梯的运行。假设一层楼的商场中有一部电梯，现在电梯停在 1 楼，2 楼有客人想下 1 楼，他按了叫电梯的按钮。紧接着 3 楼也有客人想下 1 楼，也按了按钮。

此时，尽管 2 楼先叫，电梯还是通过 2 楼运行到 3 楼，之后再停在 2 楼。它没有让想下到 1 楼的 2 楼客人，乘上狭窄的电梯一直到 3 楼，因而这种运行方法对于客人想得很周到。考虑到各种各样的情形，要让电梯运行得恰当，客人等待的时间要短。

看起来很普通的电梯，实际上进行相当复杂的运行。

像电梯运行那样，按预先确定的顺序来动作的控制称为程序控制。

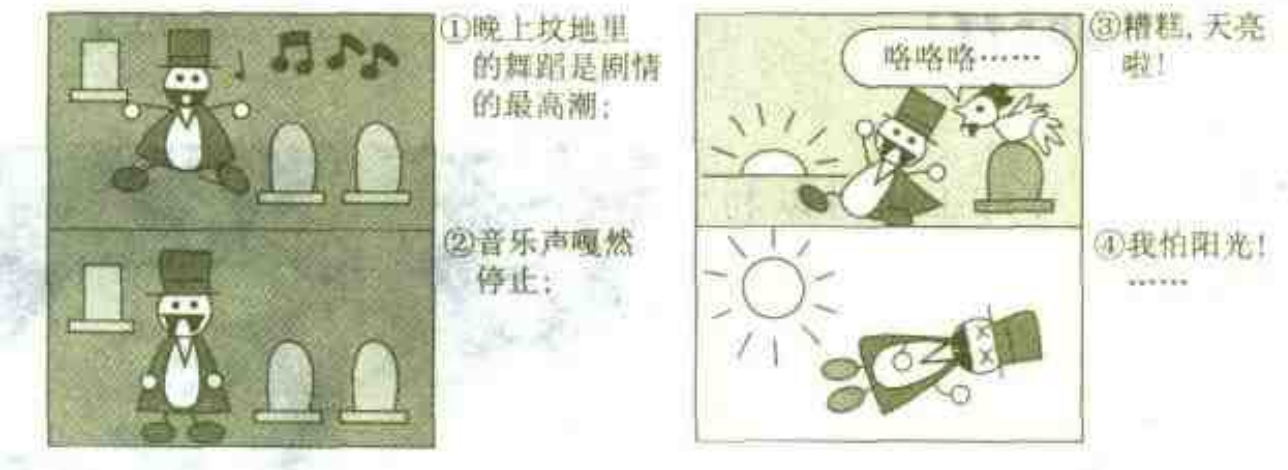
微机控制也适于下面的情形。右图为控制电梯模型的例子。


电梯模型的控制

木偶的控制

已经看过了信号灯及电梯等实用的微机控制的实例，请再介绍一些微机控制娱乐设施的例子吧。

好吧，那么介绍一个使用袖珍计算机控制木偶的例子。它是通过用电动卷筒收放系在木偶“多拉”上的 5 根线来操纵木偶。



木偶戏的故事情节

只是简单地让木偶作动作太没意思啦，所以要给木偶的动作配上故事情节。

木偶"多拉"的故事情节

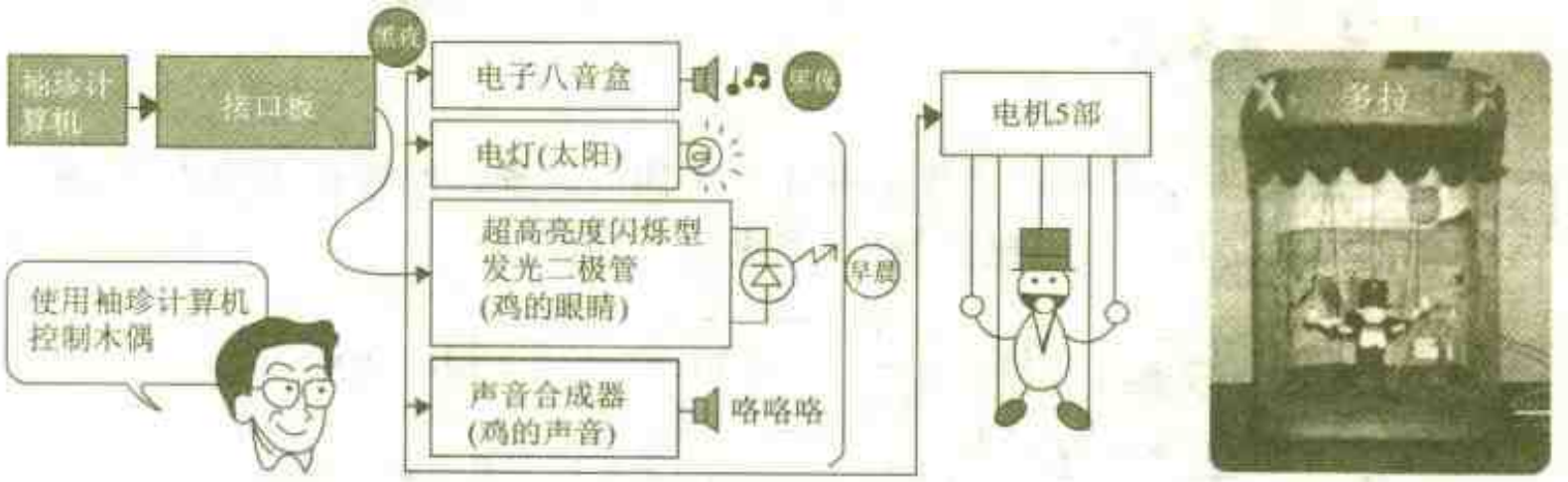
①合着音乐(电子八音盒)的节拍,"多拉"快乐地跳着舞;
② 音乐停止;
③ 太阳开始升起(电灯亮),早晨来到。公鸡醒来了(装在眼睛里的发光二极管闪烁),开始报晓(声音合成器);
④ "多拉"倒在地上,死去了。



吸血鬼"多拉"怕太阳光。



这个木偶的例子中,是用袖珍计算机控制着电机、电子八音盒、电灯、声音合成器、以及 LED(发光二极管)。



皮耶罗魔术师的控制



再介绍一个有趣的微机控制的例子。它可以揭露皮耶罗木偶的魔术秘密。

皮耶罗魔术师的故事情节

① 皮耶罗一拿起箱子,台子上什么也没有;
② 放下箱子,再拿起时,台子上出现胡萝卜。皮耶罗的身后露出兔子的脸;
③ 放下箱子,再拿起时,台子上出现鱼。皮耶罗的身后露出猫的脸;
④ 放下箱子,再拿起时,台子上出现香蕉。皮耶罗的面孔变成猴子脸。

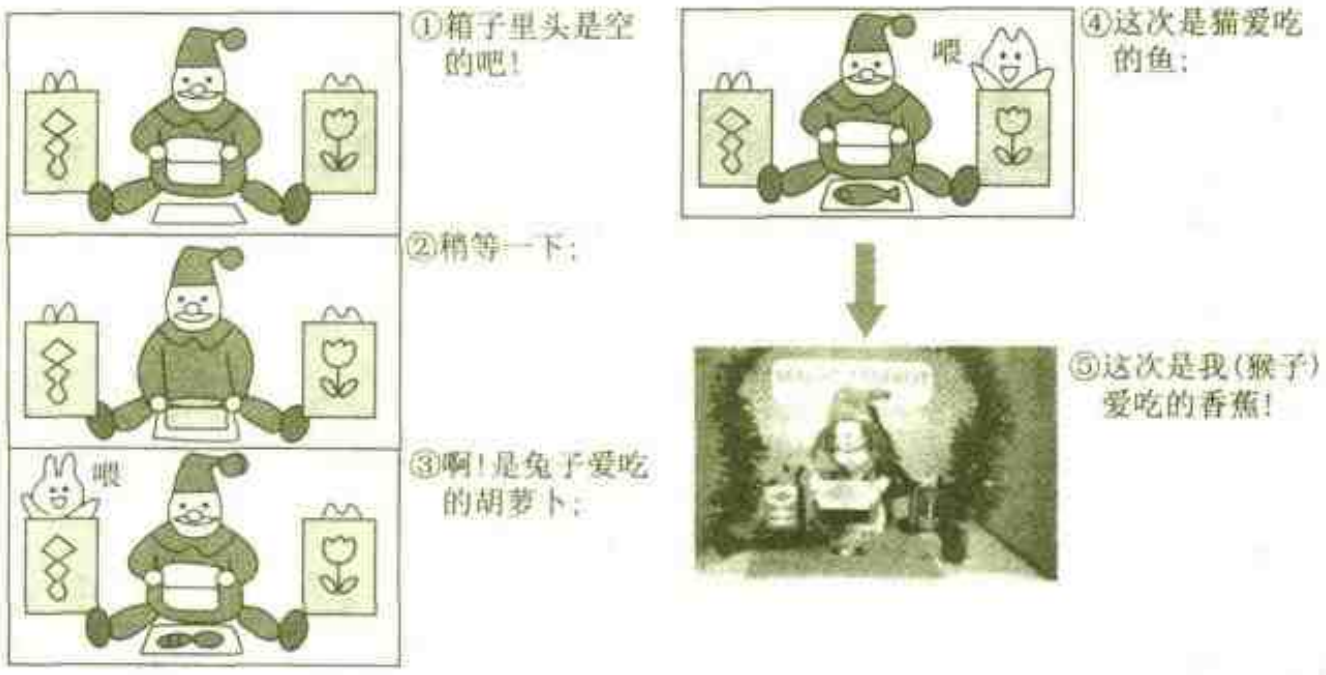
以上故事情节,随着皮耶罗的饶舌(声音合成器)而展开。



"饶舌"线操木偶戏,好像很有趣唉!

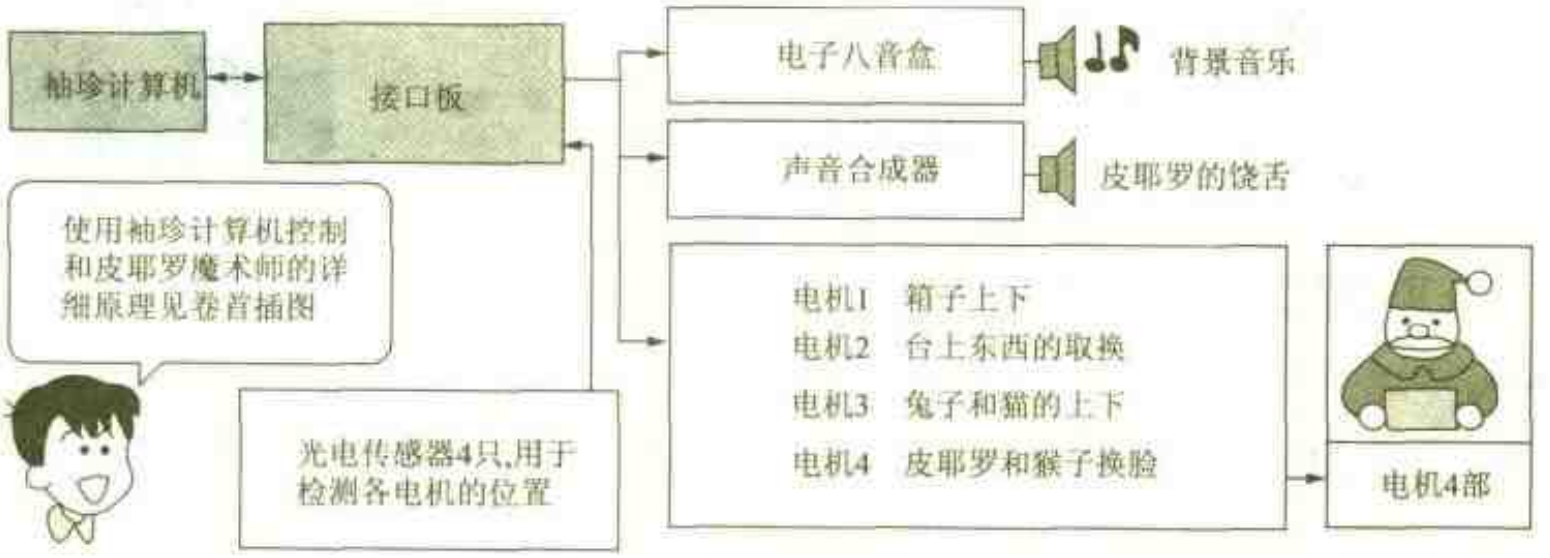


什么机关能让台子上出现胡萝卜、香蕉什么的？





这个机关，用的是200多年前制作的木偶的原理。原理说明略去，但是台子的机关是用一部电机控制的（参见卷首插图）。



自立型相扑机器人的控制



最近，机器人相扑比赛大会呼声高涨。这是让装有控制用单板机的小型机器人在直径154cm的摔跤场上进行相扑比赛。有关此大会的详细情况在第4章进行介绍。



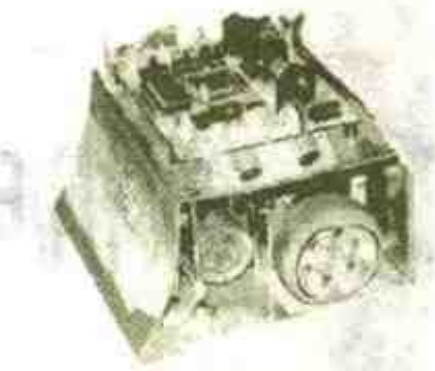
我们制作的机器人大力士也去参加相扑比赛吗？



是的。自己做的机器人大力士比赛时，特别兴奋。对于机器人大力士，有大小及重量的限制，最好的办法是安装小型的单板机。

为对驱动机器人大力士的电机、识别摔跤场边框白线的光传感器、寻找比

赛对手的超声波传感器等诸多电路进行控制而利用微机。有关机器人的制作方法，在第 4 章进行具体介绍。



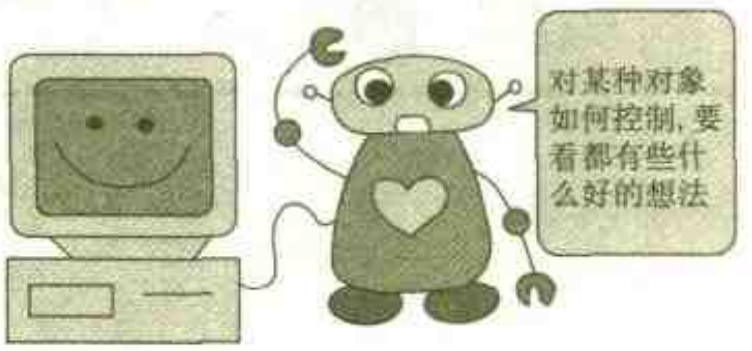
相扑机器人

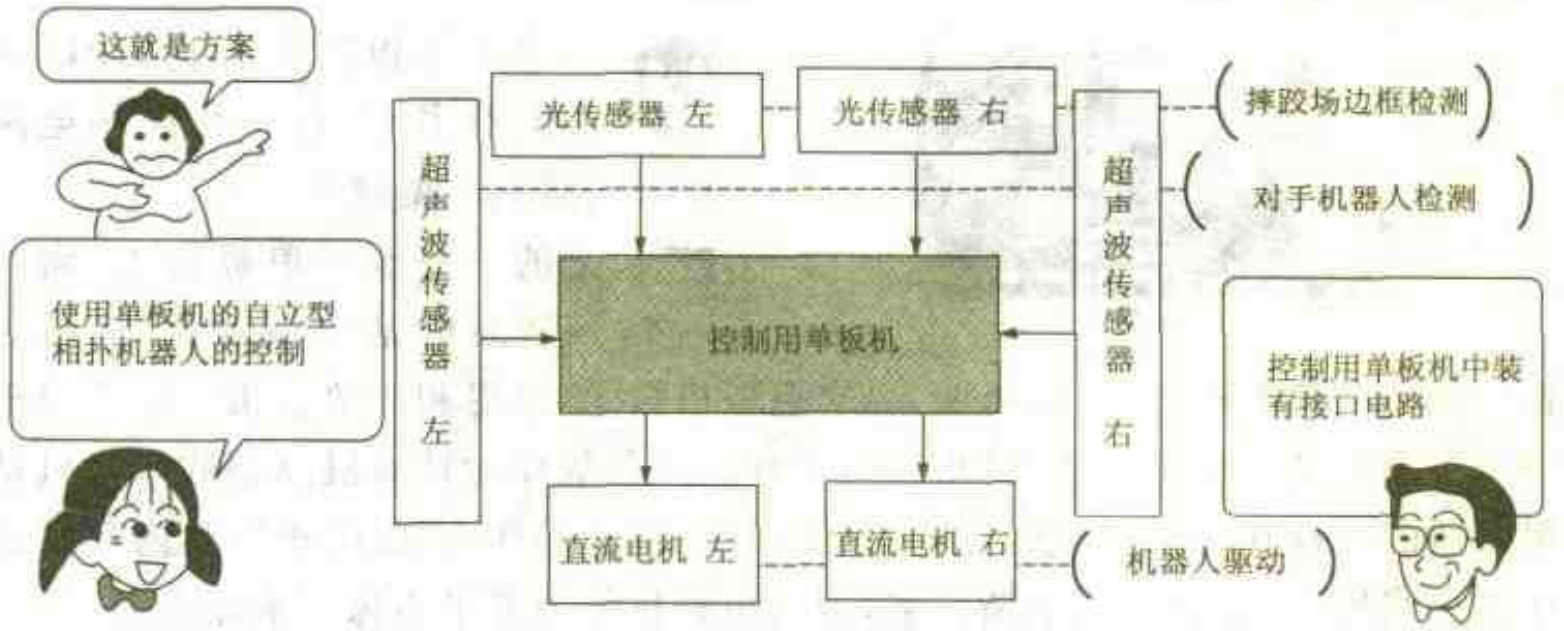


前面已经见过微机控制的例子，都很有趣。想自己也实验一下看看。但是好像很难，稍微有些担心。



微机控制的基础部分一点不难。按照顺序进行简易的说明，所以不必担心。如果有利用微机对某种对象如何进行控制的想法思路，大家就一定能做出愉快的独创性的作品。





练习题

考虑一下，使用个人计算机、袖珍计算机、单板机的控制都有些什么不同。

解答

无论使用哪种控制用计算机，其控制原理完全不变。仅仅是准备方法及控制电路不同。另外，根据是否要否装人控制对象内部决定使用哪种微机。

3 微机电路板



单板机

前面对单板机已作过简要介绍，还记得吗？

记得。单板机就是把 CPU 及存储器 IC 装在一块印刷电路板上构成的小型微机。


单板机

是的。一般的单板机上，输入装置装的是小型键盘，输出装置装的是 7 段 LED。20 多年前，要掌握微机技术，总得利用单板机。这是由于要学习硬件和汇编程序语言(机器语言)时，简单的作为计算机原型的单板机是很合适的。现在，计算机已经高度进步，计算机自身作为“黑匣子”(其内部是些什么另当别论)要处理的事情很多，因而单板机的需要量不像以前那么多。

微机控制是与硬件密切相关的技术，所以，用单板机进行学习，对于掌握微机控制当然是很有利的。

是这样的。一定要找机会学学单板机。肯定会加深你对微机的理解。

以汽车驾驶为例，即使不知道发动机及煞车的机理也能驾驶。但是，知道了这些以后再驾驶，就能够按照机械能力及特性进行非常合适的操作。而且简单的故障自己也能修理。微机也与此相同。在理解了基本原理的基础上再来操作，不仅能够更好地发挥微机性能，而且对于各种故障也能有一定的对策。

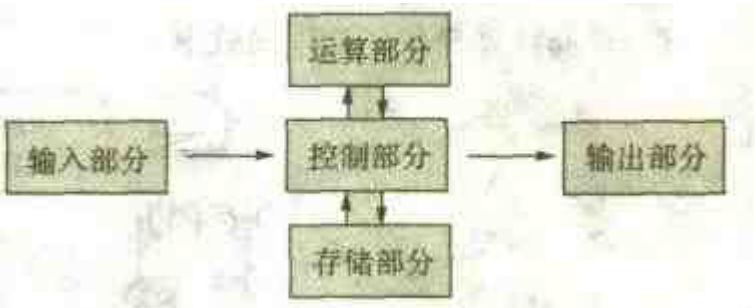


请对单板机也稍微做一些说明吧。

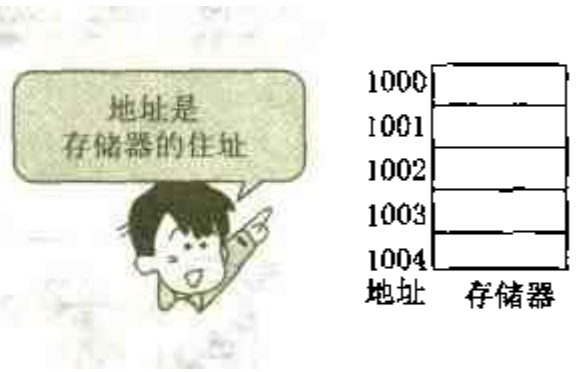
好的，知道啦。一般的单板机的基本构成如下：程序用机器语言（十六进制数）从键盘输入，还要指定输入存储器的地址。

存储器的地址是什么？

例如，使用个人计算机输入 BASIC 语言程序时，无需特别了解其程序存放在计算机存储器上的哪个部分。这是由于 BASIC 系统是自动来决定输入程序的存放场所的。但是，机器语言中，输入程序的存放场所是必须由编程来决定的。存储器中的程序及数据的存放场所，是带着地址管理的。即，指定了地址就能指定存储器上任意的存放场所。



单板机的基本构成



机器语言处理是不是很麻烦？

的确如此。与高级语言（BASIC 等）相比处理上稍显麻烦。但是，机器语言具有高速、细微处理的优点。

高级语言编成的程序在单板机上不能用吧？

利用个人计算机，有办法将 BASIC 及 C 语言编写的程序转换，可在单板机上使用。关于这一点，在第 4 章介绍。

现在还有很多厂商在出售教学用单板机。从组装单板机开始，能够更有效地对计算机进行学习。

Z80 家族

本书中提到的 Z80CPU，配有与其组合使用的几种专用 IC。这些被称为 Z80 家族。顾名思义，Z80CPU 是这个家庭的顶梁柱，支持它的周围的各

种 IC 是这个家庭的成员。

Z80 家族

① Z80CPU 是作为微机关键的 CPU。

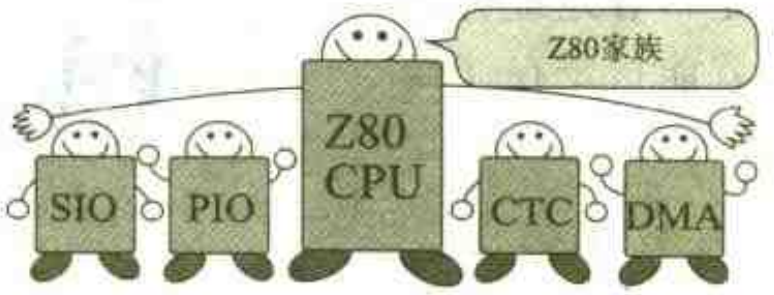
② Z80PIO PIO 是 Parallel Input Output 的缩写。是给微机并行输入数据、从微机并行输出数据时所必需的接口 IC。

③ Z80SIO SIO 是 Serial Input Output 的缩写。是给微机串行输入数据、从微机串行输出数据时所必需的接口 IC。

④ Z80CTC CTC 是 Counter Timer Circuit 的缩写。常常要利用反复处理来制作任意的定时器。CTC 就是起定时作用的 IC。让 CTC 进行多次重复出现的处理，可减轻 CPU 的负担，提高计算机整体处理的效率。

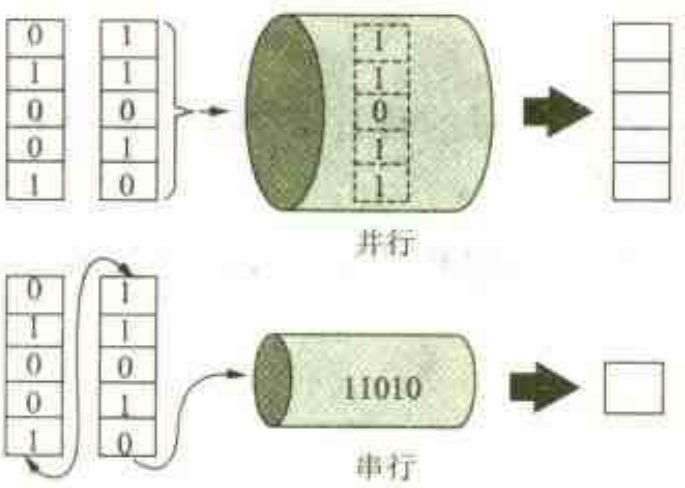


⑤ Z80DMA DMA 是 Direct Memory Access 的缩写。使用 DMA 技术，无需 CPU 介入，即可在存储器与 I/O 接口间直接进行数据传送。





所谓并行、串行是什么？





这指的是传送数据时的方式。所谓并行，是将整理好的数据并排一次传出的方式。而所谓串行，则是将数据一个一个连成串传出的方式。

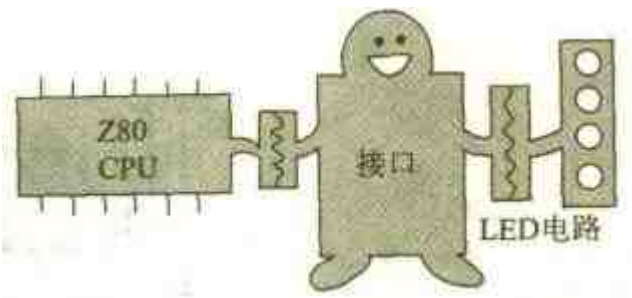


并行方式可以在短时间内传送很多数据，但需要许多信号线。而串行方式只需一根信号线即可，传送数据时稍微费点时间。

所谓接口是什么?

将不同的功能连接一起使用时,其起连接作用的部分称为接口。

例如,想使用 Z80CPU 控制 LED 的闪烁时,就要在 CPU 和 LED 间使用接口 IC。Z80 家族 IC 设计得非常适于相互间组合使用。



PIO 中,8255IC 是很有名的哟。

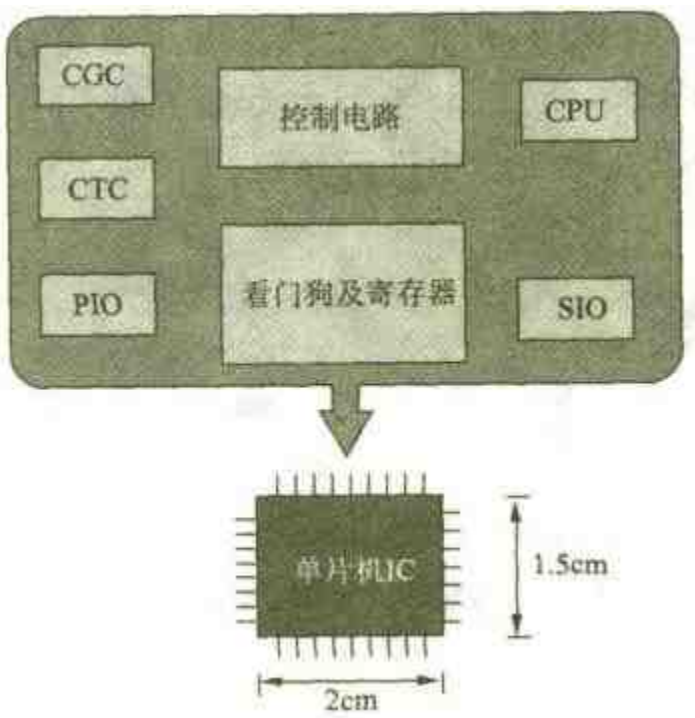
是的。尽管 8255 不属 Z80 家族,但它很便于使用,也常与 Z80CPU 组合使用。但是在中断功能方面,仍然是 Z80 家族中的 Z80PIO 是最适宜的。

单片机 IC

单板机与个人计算机及袖珍计算机相比,尺寸小、重量轻,且适于装入机器内部。按照将单板机用于控制目的,把更为小型的称为控制用单板机。控制用单板机中,没有输入装置及输出装置,使用的 IC 也是特殊的。

特殊的 IC 是什么东西?

控制用单板机中,使用的 IC 称为单片机 IC。前面对 Z80 家族作过简单的说明。单片机 IC 即是将 Z80 家族 IC 及其他功能件封装于一只芯片中的小型 IC。



单片机 IC 中,集成了很多功能。

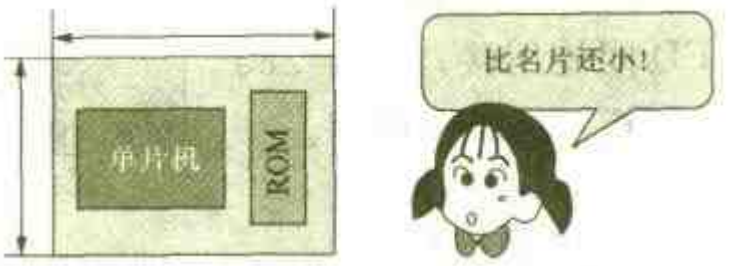
单片机 IC 中,除封有 CPU、PIO、SIO、CTC 外,还含有 CGC(时钟发生电路,Clock Generator Circuit)、看门狗以及寄存器等。

CGC:时钟发生电路
看门狗及寄存器:检测 CPU 的误动作、回到正常动作的电路。

微机板



按照用途在单片机 IC 上连接存储器 IC(ROM 及 RAM)以及若干逻辑 IC,即可当作漂亮的微机来使用。这就是控制用单板机。

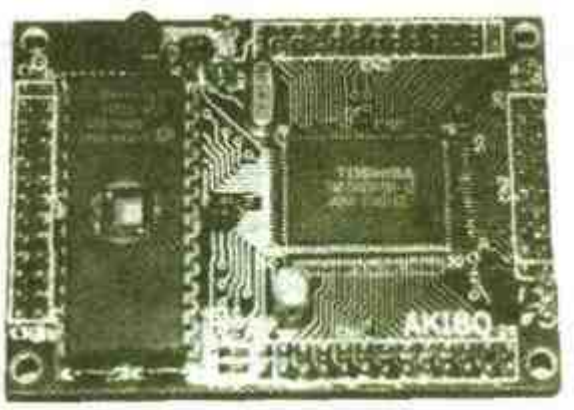




使用单片机 IC 的控制用单板机,比微机教学用的单板机更小。



而且一开始就装有利于微机控制的许多功能。总之,作为装入小型机器的微机来用是最适宜的。





是这样的。对控制用单板机的使用方法进行简易的说明是本书的目的。控制用单板机,也简单地叫做单板机或微机板。本书在此后就将控制用单板机称为微机板。

使用含有 Z80CPU 的单片机 IC 的微机板,许多公司都有销售。其基本的使用方法都一样。但在本书中,为了更为具体地进行说明,则集中于秋月电子通商有限公司出售的 AKI-80 微机板进行讲述。AKI-80,便宜(3800 日元起价)、使用方便,是首选的微机板。关于 AKI-80 的详细情况在第 4 章中进行介绍。

练习题

1. 对单片机 IC 进行说明。
2. 适于装入小型机器的微机是哪种类型?

解答

1. 参照本节。
2. 微机板。

4 微机控制的顺序

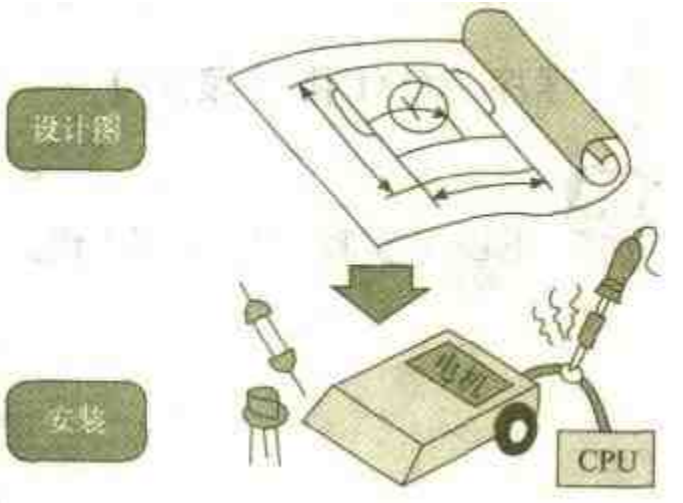


相扑机器人的微机控制

请教我们使用微机板进行微机控制时的实际顺序吧。

好。那么以自立型相扑机器人为例来考虑一下微机控制的顺序。

首先要按照设计图制作相扑机器人的硬件部分，组装电机驱动部分及传感器控制部分等的电子电路，再与单板机相连接。



但是，如果只完成硬件部分，这个相扑机器人并不会动。还必须完成判断决定如何动作的程序，即软件部分。在这里说明制作此软件部分的顺序。



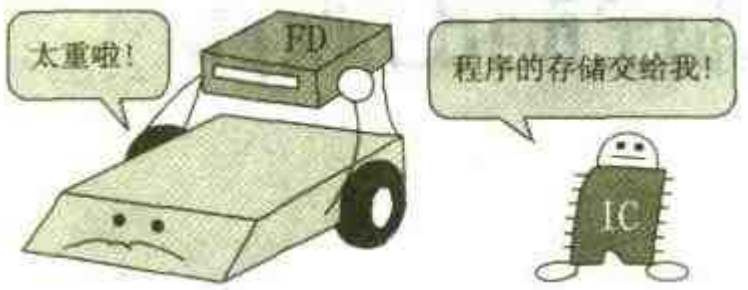
总之，就是编写控制相扑机器人的程序并将其装入实际的相扑机器人中的顺序。

所谓将程序装入相扑机器人，是怎么回事？

微机的程序并不是有形的东西，而是数据的集合。这些数据通常存储在软盘或硬盘

上。


可是，将软盘驱动器或硬盘驱动器装在大小及重量都有限制的相扑机器人上是不行的。




是的。但是可以装在IC上。能够存储程序的IC叫做什么?


叫做存储器IC。存储器IC有数据可读可写的RAM(Random Access Memory)和只供读出的ROM(Read Only Memory)两种。切断电源，RAM存储的内容会消失，而ROM即使切断电源，存储的内容仍旧保持着。

- IC存储器
  - RAM
    - 读写两用
    - 电源断开，数据消失
  - ROM
    - 读出专用
    - 电源断开，数据仍保持

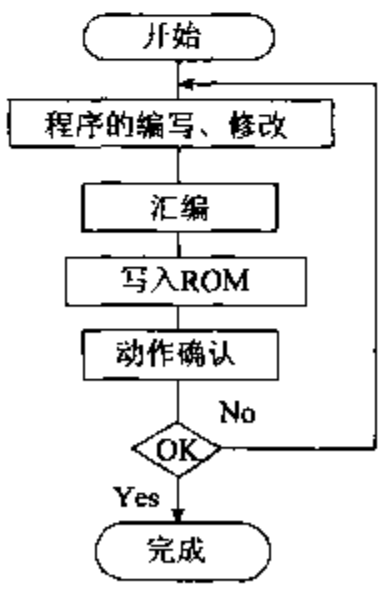



是的。微机板上，RAM和ROM两者都可安装。所以，程序是写入ROM而装上的。

将程序写入ROM，称为程序的ROM化。

程序ROM化的顺序1


下图是实现程序ROM化的基本步骤。



程序ROM化的顺序1

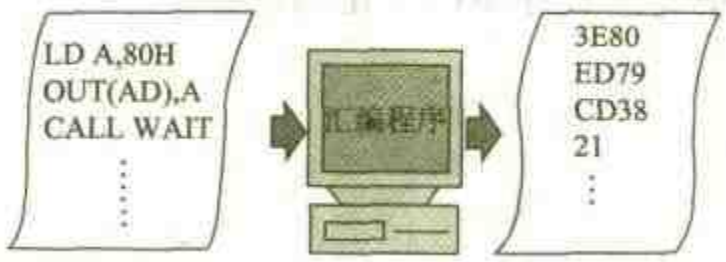


(1) 程序的编写

使用个人计算机，用 BASIC 或汇编或 C 语言编写程序。编辑程序的软件（编辑器）是必需的。编辑器可用一太郎等字处理器的软件代用。

(2) 汇　编

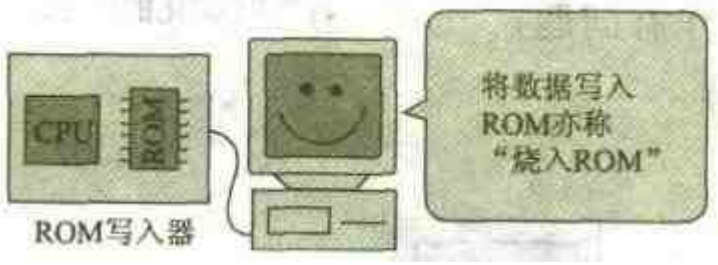
将写好的程序要变为 Z80 的机器语言。变为机器语言称为汇编，变换的软件称为汇编程序。此项工作使用个人计算机完成。



输入程序　　<汇编>　　机器语言

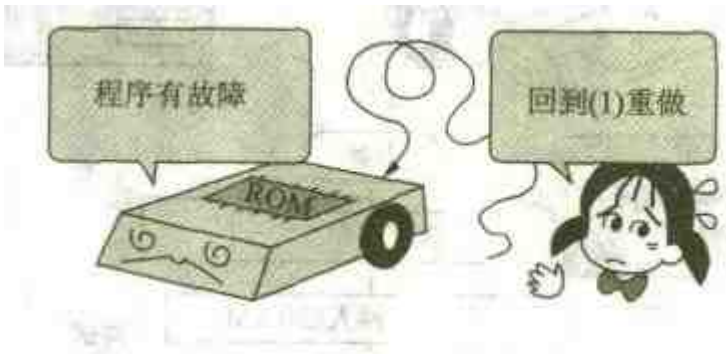
(3) 写入 ROM

需将 Z80 的机器语言程序写入 ROM。为写入需使用个人计算机和称为 ROM 写入器的装置。



(4) 动作确认

将写有程序的 ROM 插在微机板上，对相扑机器人的动作进行确认。若有问题时，回到(1)修正程序，然后再进行(2)、(3)、(4)等步骤。




程序 ROM 化的基本步骤已经明白了，相当麻烦呢。


程序中难免有故障，所以我想能按最初设想来动作的确很难。


一旦将程序写入 ROM，还能将修改后的程序再写入吗？

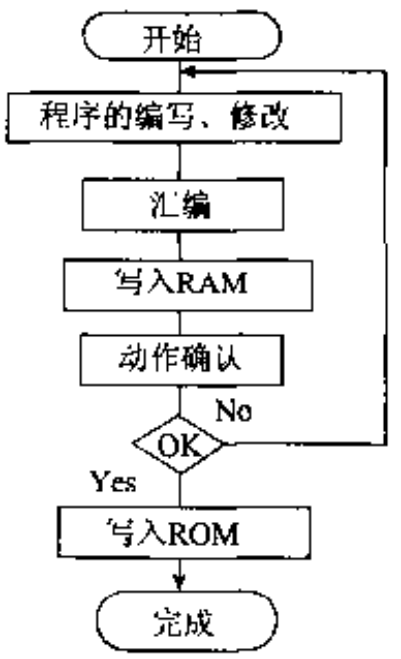


ROM擦除器

是可以的。但是，给已经写有程序的ROM再次写入程序时，首先要清除ROM中的原内容。对此需使用称为ROM擦除器的装置。

以上介绍的步骤，是程序ROM化的基本方法。但是，到程序完成，需要多次改写ROM，恐怕不下数十次。这样的话，工作效率太差。所以推荐下面介绍的“顺序2”。

程序ROM化的顺序2



程序ROM化的顺序2

下面来介绍效率高的程序ROM化的顺序。

(1) 编写程序

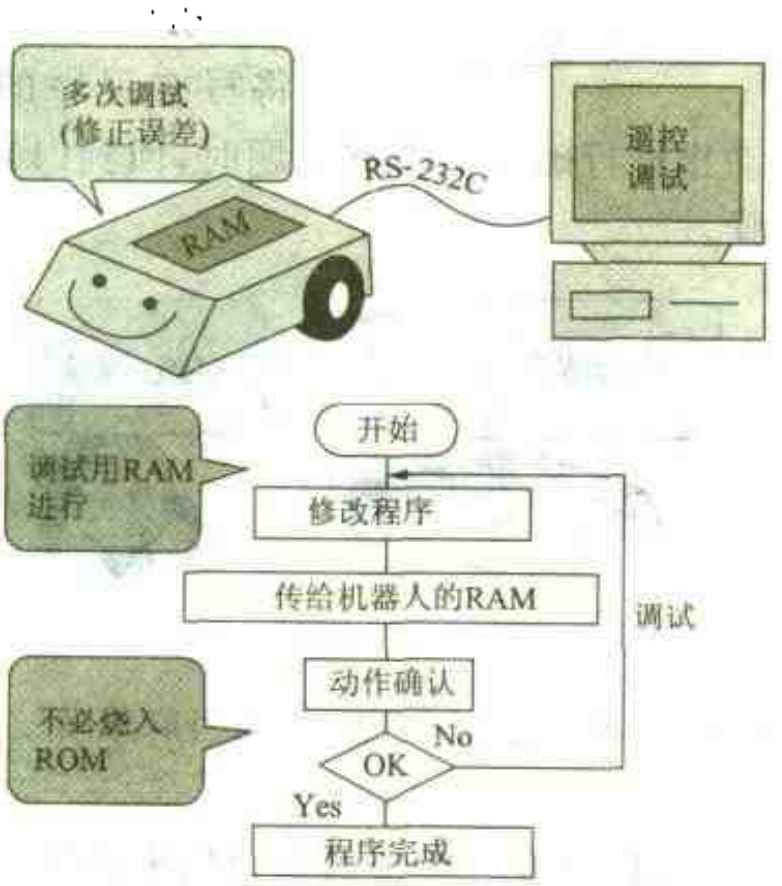
与顺序1相同。

(2) 汇编

与顺序1相同。

(3) 写入RAM确认动作

将Z80机器语言程序写入安装于相扑机器人微机板上的RAM中。为此，需在个人计算机上使用称为遥控调试的软件，如果相扑机器人的动作有问题，还要对程序进行修改。



(4) 写入 ROM

将经过步骤(3)确认的程序写入 ROM。写入时使用个人计算机和称为 ROM 写入器的装置的情况与顺序 1 相同。



利用微机板上的 RAM 对程序的工作确认后，再写入 ROM。这样一来，无需多次使用 ROM 擦除器和 ROM 写入器改写 ROM，因而效率较高。





本书介绍的是按此顺序 2 的程序 ROM 化方法。

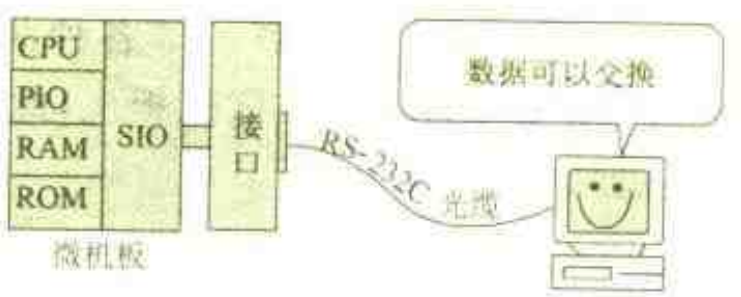
个人计算机与微机板间的通信



请讲一下有关将在个人计算机上编好的程序转送到微机板上 RAM 的过程。



在微机板的单片机 IC 中，内藏有称为 SIO(串行输入输出)的系列 IC 的功能。利用此功能，再添加若干外接电路，经由 RS-232C 光缆，可以实现微机板与个人计算机间的数据交换。





所谓 RS 232C 指的是串行数据传送规格。在个人计算机内部有 RS-232C 用的连接器。



都需要什么样的外加电路？

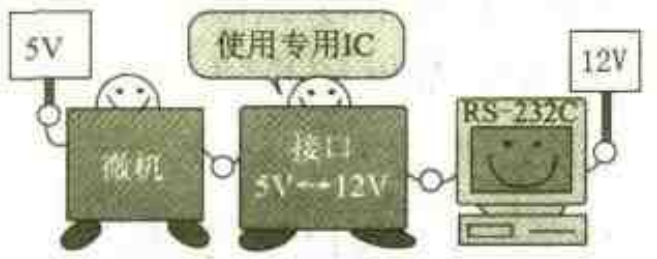


微机板用 5V 电源工作，数据的电压也要以此为准。而按照 RS-232C 规格，数据电压用的是 12V。所以，将来自个人计算机中 RS 232C 的数据电压降到 5V，或者将来自微机板的数据升压到 12V，都需要电平匹配电路。

对此，使用简单的专用 IC 市面有售，只需简单的电路即可。

电平匹配后，个人计算机和微机板间数据的交换，即通信的准备工作即告完成。接着就要运行个人计算机与微机板两者间通信用的程序。个人计算机

的遥控调试程序中含有通信程序功能，而微机板则要使用写有通信程序的ROM。





怎样准备写有通信程序的ROM？



通信程序含在遥控调试用的软盘中，使用ROM书写器可将其写入ROM。关于这一点下一章将具体介绍。





使用个人计算机能够在与微机板通信的同时，对微机板用的程序进行修改(调试)。



完成程序ROM化，必须要有个人计算机等各种装置以及软件的帮助。当ROM化完成后，若将此ROM装在微机板上，此微机板即可单独用来控制相扑机器人等对象机器。

练习题

试考虑程序ROM化的“顺序1”与“顺序2”各自的优点。

解答

顺序1：不需要遥控调试。

顺序2：程序的调试容易。

Q 挑战题页

① 对某种机械，试比较人工控制与微机控制。 ☞P94

② 在我们的身边，都有哪样利用微机控制的产品？ ☞P94

③ 微机控制都用些什么种类的计算机？ ☞P94

④ 试说明控制用单板机。 ☞P95

⑤ 微机控制中，为什么至今还在使用 Z80CPU？ ☞P97

⑥ 作为愉快的微机控制的例子，试想出一个好点子。

⑦ Z80 家族指什么？ ☞P106

⑧ 单片机 IC 是什么？ ☞P107

⑨ 什么是接口？ ☞P107

⑩ 试考虑微机板的优点。 ☞P108

⑪ 比较存储器 IC 中的 RAM 与 ROM。 ☞P110

⑫ 比较微机控制的两种顺序。 ☞P110

⑬ 什么是 ROM 写入器？ ☞P111

⑭ 什么是 ROM 擦除器？ ☞P112

⑮ 使用微机板时，为什么需要个人计算机的帮助？ ☞P111

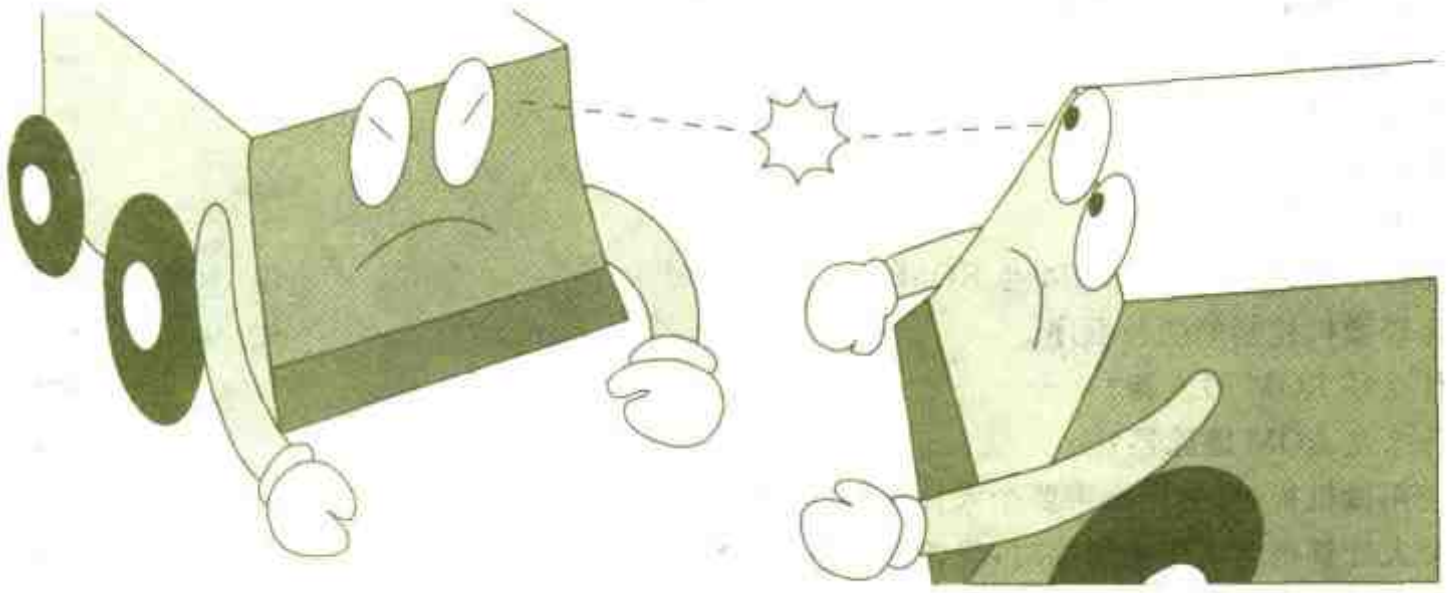
⑯ 个人计算机与微机板通信时，应该注意哪些事情？ ☞P113

⑰ 解释以下术语及词汇： ☞P113
编辑器、汇编、汇编程序、调试、烧入 ROM。

⑱ RS-232C 是什么？ ☞P113

第4章

机器人的制作方法



本章学习内容

第3章介绍了微机控制的基础，相信大家大概已经能够理解微机控制的概要以及控制工作的顺序。

微机控制，实际上是自己亲自手握电烙铁、操作个人计算机最初掌握的技术。并且，那怕有一次实际进行微机控制的经验，其后自然会渐渐应用开来。

本章，以相扑机器人的制作为例来介绍微机控制的实际情况。希望大家不要光读,建议实际试作。

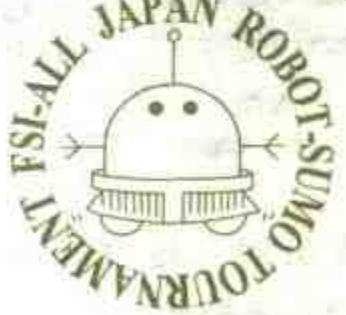
本章中提到的相扑机器人起名为"太郎"。首先介绍"太郎"的概要，很好地抓住了整体的情况后再开始实际学习。

"太郎"有一个简单的结构，但是根据不同的目的可以改良成更强的机器人大力士。这样，作成相扑机器人后，可以进行对战比赛。

对于初次经历微机控制的人来讲，说不定也有工作进展不顺利的情形。但不要停止，要努力做到最后。我相信,大家通过本书的学习所掌握的知识，将 来一定大有用处。

1 机器人相扑比赛大会概况





机器人相扑比赛大会



机器人相扑，作为富士软件株式会社 20 周年的纪念活动，于 1990 年 3 月举办了第一次比赛大会，共计有 147 台机器人大力士展开了角逐。这次大会赢得了很大的反响，之后，参加比赛大会的机器人数量逐年持续增长。



机器人大力士是不是一年比一年变强啊？



是的。现在先要在地方比赛大会中胜出，然后参加全国比赛大会。1993 年，又增设了高中生机器人相扑比赛大会，因而高中生参加比赛越来越容易，比赛大会也愈来愈引人关注。



大会场景1



大会场景2

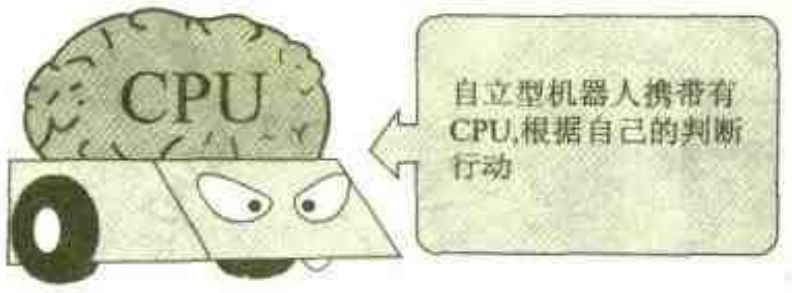
要制作相扑机器人，工业领域内广泛的知识与制造技术是不可缺少的，因而通过制作机器人正适合培养工业技校学生的动手能力。自己制作的机器人，

参加这种比赛会很有趣。所以，很多工业技校都面向比赛大会努力制作机器人大力士。

自立型和遥控型



机器人相扑比赛大会，设有自立型和遥控型两部分。



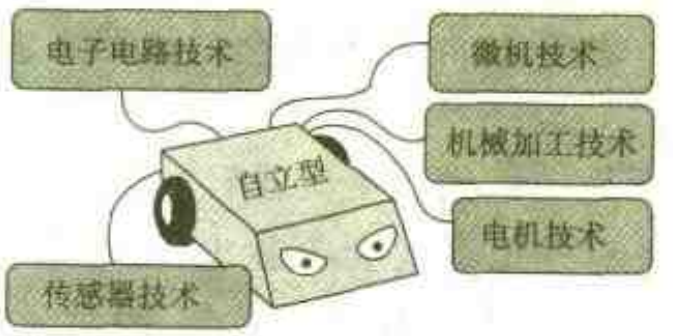
(1) 自立型

是指由所携带的微机进行控制的机器人。参赛者在比赛一开始按下机器人的开始开关后，只能在旁边观战。机器人还装有各种传感器，可寻找发现对方机器人进行攻击。

(2) 遥控型

是指参赛者用无线电控制进行操作的机器人。常使用市售的遥控器。为了取胜，需要增加机器人的功能，这会影响参赛者的操纵。由于对微机控制技术无特别要求，因而可以比较简单地制作机器人。







自立型相扑机器人更适合作学习微机控制的数材。



自立型相扑机器人的制作中，除微机控制技术外，电子电路技术、传感器技术以及机械加工技术等也是不可缺少的。

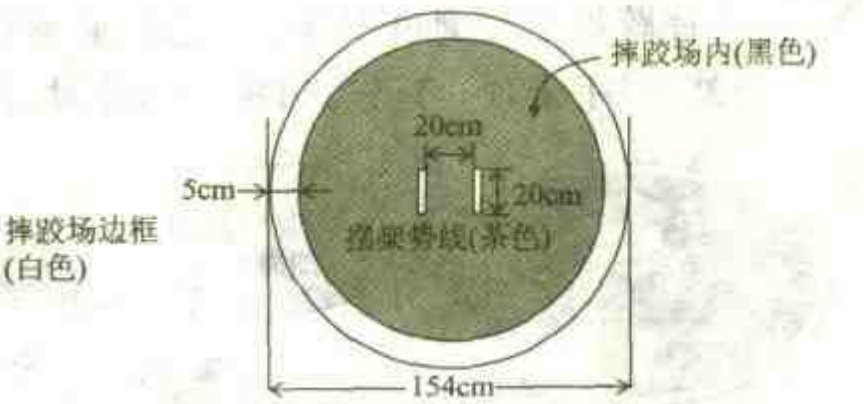


通过制作一台机器人大力士能学到许多工业技术呢。



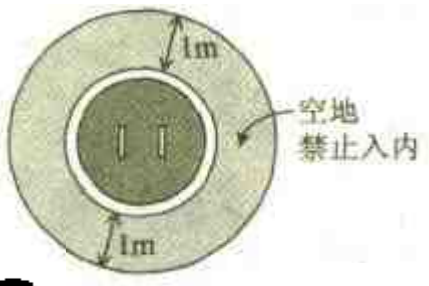
正因为如此，本书以自立型相扑机器人为对象，来介绍其制作方法。

比赛规则(自立型)



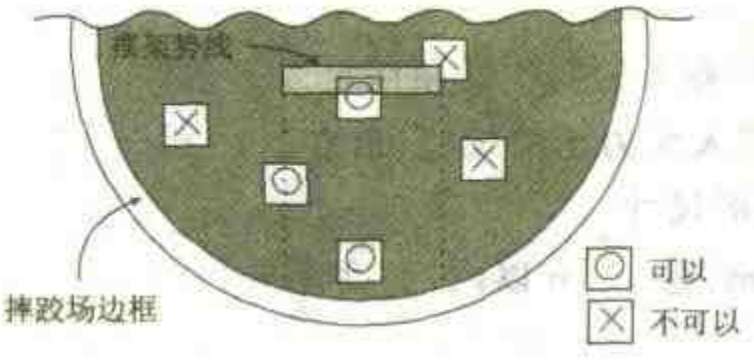
机器人相扑比赛,是在直径154cm的圆形摔跤场上进行。摔跤场的表面贴有黑油毡橡胶,摔跤场的边缘为白色,摆架势线为茶色。

摔跤场周围留有1m的空地,目的是为了防止机器人携带的各种传感器的误动作等。参赛者将机器人先放在各自的摆架势线上,听裁判信号后,按开始开关。机器人必须在5秒以后才能开始动作。开始开关按下后,参赛者不得再接触机器人。



如果按下开始开关后,5秒之内机器人动作应视为什么行为呢?





机器人所在位置

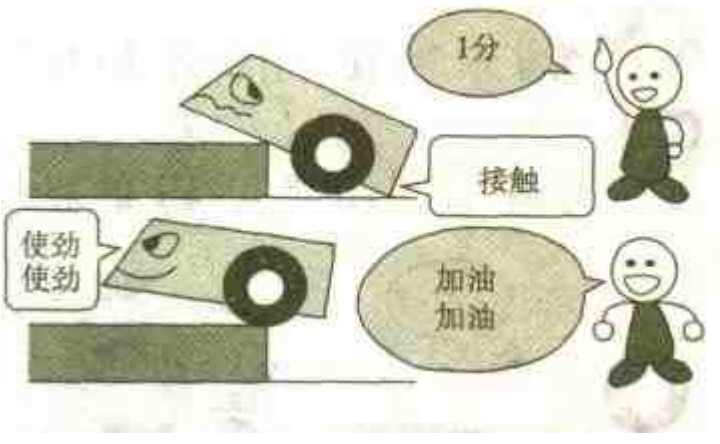
怎么才算有效得分?

将对手机器人顶出摔跤场外得1分。就是说,必须使对手机器人身体的一部分触到摔跤场的外部才算。

就是说身体仅有少许露出摔跤场并不得分。

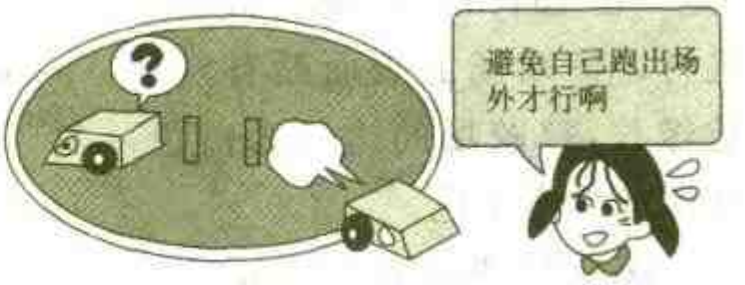
这时就要警告。警告两次,给对方机器人加1分。面且,最初机器人的放置位置有如下的规定:

比赛时间为3分钟,三局两胜制。但是,超过了限制的3分钟时间后,先得1分者为胜。



在摔跤场上翻倒也不算输。总之必须顶出摔跤场外才算。
当然，对手未顶，自己飞出摔跤场外时，也要给对手记 1 分。





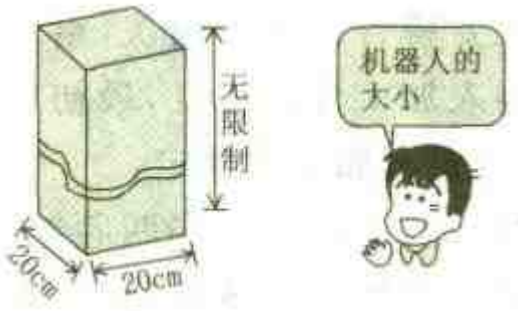
要想自己不跑出摔跤场外，至少要安装感知摔跤场边白线的传感器。

还有，一方有 1cm 以上零件脱落时，也要给对方记 1 分。





机器人大力士的规格



相扑机器人的制作必须满足以下条件。

1. 机器人大力士的规格(自立型)

(1) 外形尺寸

长 20cm、宽 20cm 以内，高度无限制。

(2) 重量

3000 克以内。



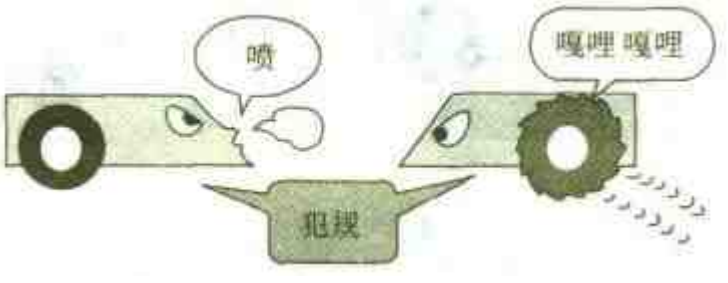
为了取胜，使用什么办法都行吗？

机器人的制作上有以下的禁止事项。

2. 制作上的禁止事项

① 不许故意破坏或污染摔跤场；

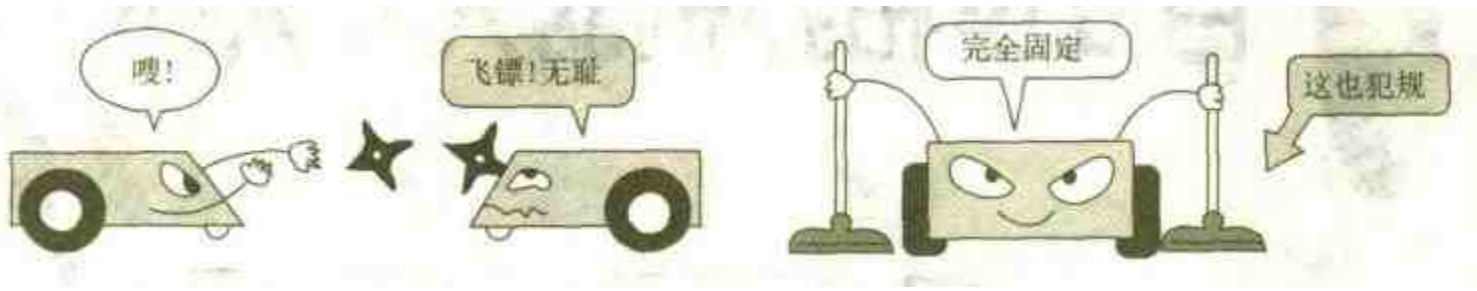
② 不得向对手吹喷液体、粉末及气体；



③ 不得内藏发火装置；

④ 不得内藏飞镖装置；

⑤ 不得用吸盘或浆糊将机器人完全固定在摔跤场上。



实验用摔跤场

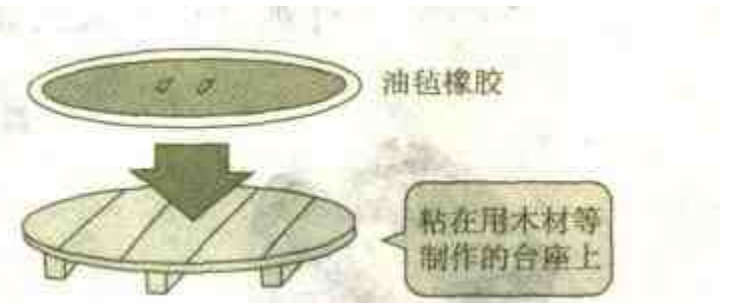


制作机器人大力士并使其动作时，实验用的摔跤场不可缺少。

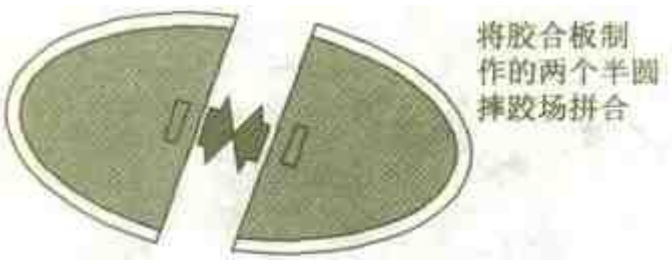


实验用摔跤场的制作

(1) 使用油毡橡胶



若要简单而有际地制作近似的摔跤场，需要购买油毡橡胶。富士软件株式会社的机器人相扑比赛大会委员会就有油毡橡胶出售，但是价格稍贵。将油毡橡胶粘在台座上制作摔跤场时，要十分注意不要在橡胶上出现凹凸不平。



(2) 使用胶合板

加工胶合板也能制作模拟摔跤场。这种材料便宜且容易得到，但大张的胶合板不易得到，因此要将两个半圆拼合成一个圆形。拼合连接时注意不要出现缝隙。再喷上油漆，简易的摔跤场就作成了。

练习题

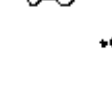
1. 总结自立型相扑机器人的比赛规则。
2. 确认相扑机器人的制作规格。

(参照书中内容给出答案)

2 自立型相扑机器人“太郎”



“太郎”的结构

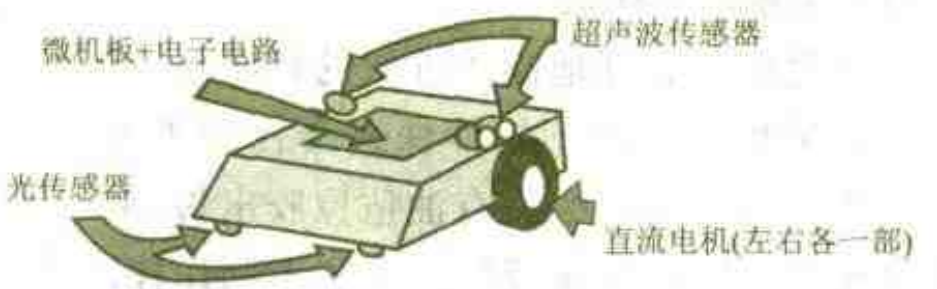


在介绍机器人大力士“太郎”的制作方法之前，先来看一下“太郎”的整体情况。

“太郎”的外观及构成大致如下：



“太郎”





“太郎”的硬件，可分为以下几个部分来考虑。

“太郎”的硬件

(1) 机械部分

机体、电机、轮子

(2) 微机部分

Z80 微机板

(3) 电子电路部分

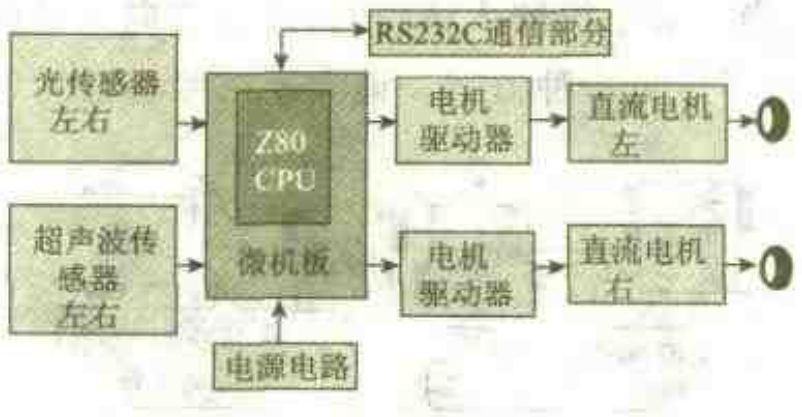
电源电路、电机驱动电路、RS-232C 通信电路

(4) 传感器部分

光传感器电路、超声波传感器电路



各部分以 Z80CPU 为中心，组成如下：



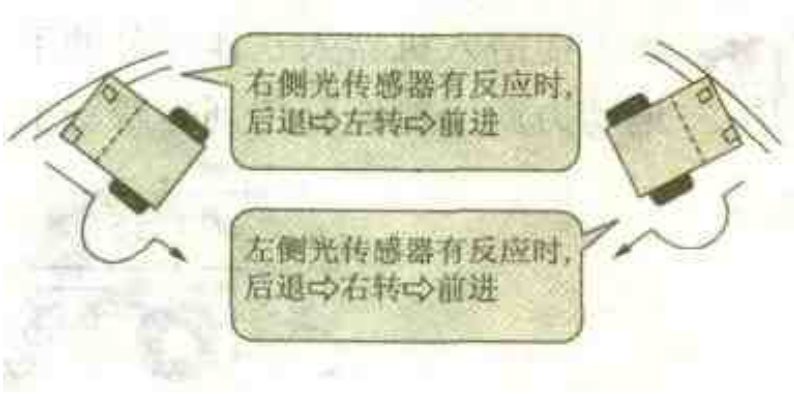
下面介绍"太郎"的动作。"太郎"在按下开始开关 5 秒后开始动作。其动作基本上只是前进。



那么，它走到摔跤场的边缘而不折回来，岂不是要自己输分。



"太郎"前面的左右都装有光传感器。无论哪只光传感器感知到摔跤场边的白线时，机器人就会开始拐弯向摔跤场的内侧前进。





这就是"太郎"的基本动作。只要有这个动作就不会自输，而且还能够继续与对手战斗。





是的。这个动作是相扑机器人所必需的。但是，仅靠这一基本动作，要正面去碰撞对手机器人，那是不行的。



所以，"太郎"上安装有超声波传感器。



是的。超声波传感器能利用声波的反射发现对手机器人。

"太郎"上，左右各装有一只超声波传感器。



为什么不装在前面而装在左右呢？



传感器的安装位置有各种方案。用什么方案，得想想机器人大力



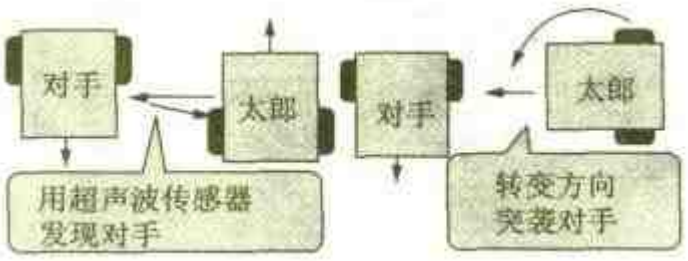
士的弱点在哪里？



从正面相碰时，电力决定胜负，而从侧面去顶时，我想对手就会显得弱。



是的。不敌侧面攻击是机器人大力士的弱点之一。所以，将超声波传感器安装在左右，当与对手机器人错位时，改变方向能从侧面碰撞对手的可能性就会增高。当然，这不过是一种方案。请大家按照自己的思路逐渐进行改善。

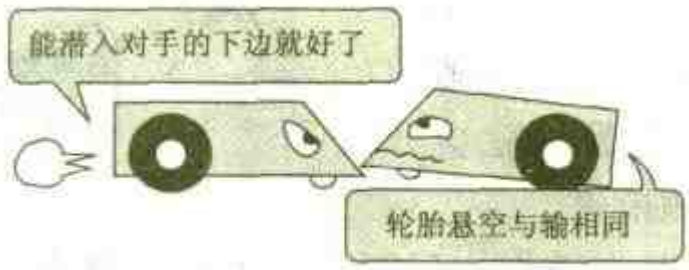




机器人大力士还能想到其他什么弱点吗？



如果能潜入机器人基体部分的下方，就能使对手悬空，这样对手的轮胎离地动力就不能充分传到摔跤场上，从面可以将其很简单地顶出场外。





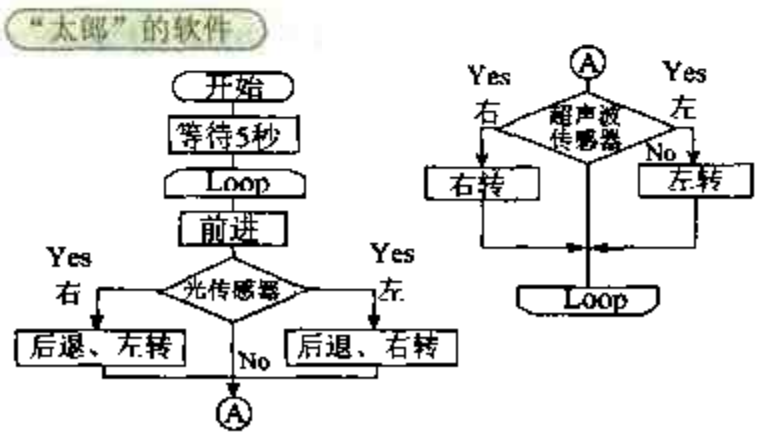
是的。所以为了不让对手潜入，关键是机器人与摔跤场之间的空隙要尽量狭小。可以考虑安装用电话卡制作的围档。



“太郎”的构造和动作概要已经明白了。太郎基本上是作前进动作，光传感器检测出摔跤场边框时改变方向向摔跤场的内侧移动，超声波传感器发现对手机器人后立即向对手前进。



是这样的。这些动作均由软件(程序)来控制。“太郎”的动作用流程图记述如下：



下面继续介绍至今已谈到的各个部分的详细原理及制作方法。

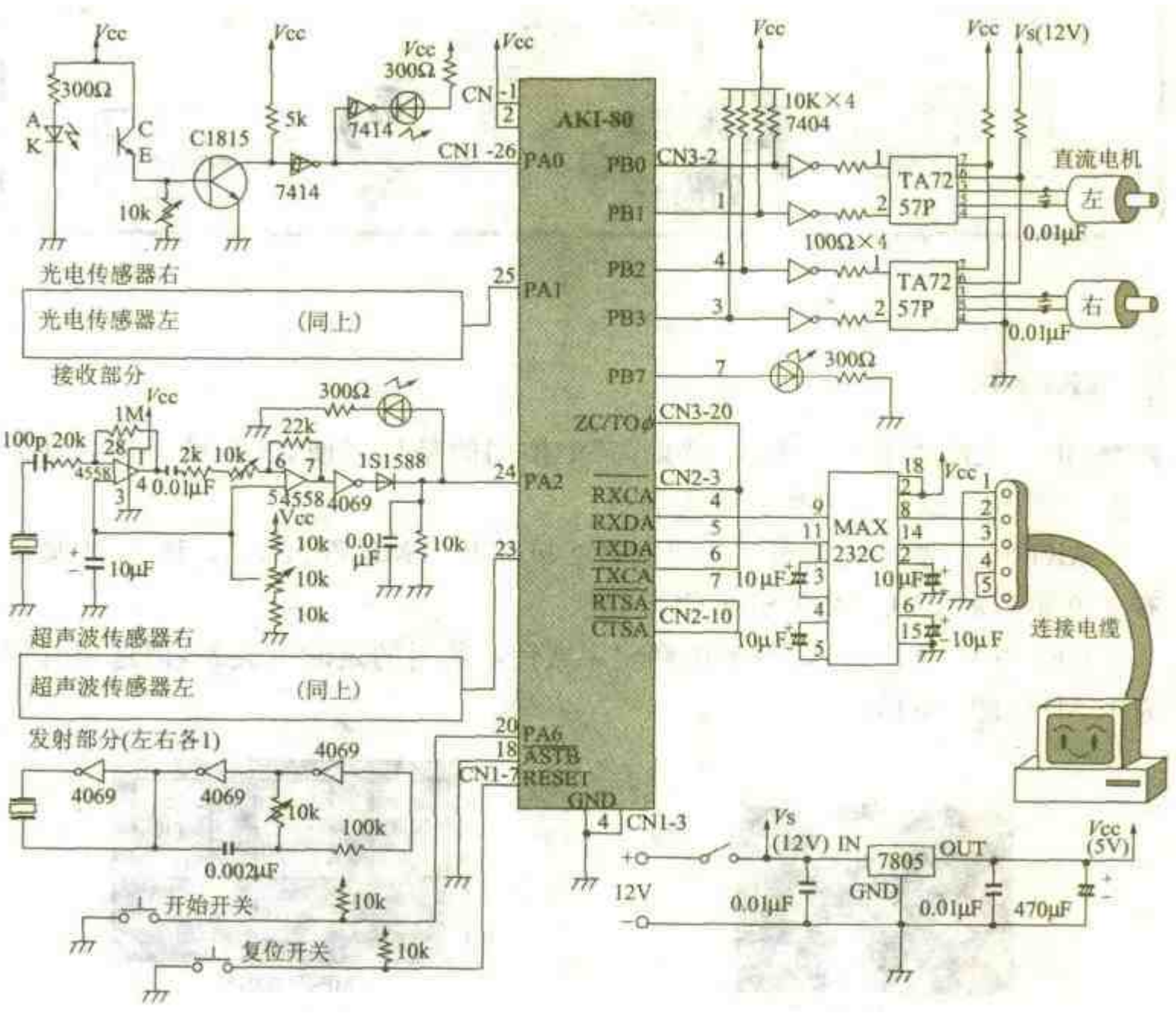
“太郎”的全电路图示在下边，请看一下。



已经知道“太郎”具备了自立型相扑机器人必要的基本功能。所以能够参加比赛大会。



但是，要在大会上胜利进军，还需要更多的好点子及技术。例如，最近许多很强的机器人都应用真空吸引技术，增大机器人与摔跤场间的摩擦力，这就需要增大机器人的重量。希望在“太郎”的基础上产生出更强大的机器人。



“太郎”的电子电路

练习题

1. 考虑相扑机器人最低限度所必需的功能。
2. 考虑相扑机器人的弱点。

（参照书中内容给出答案）

3 微机板的使用方法

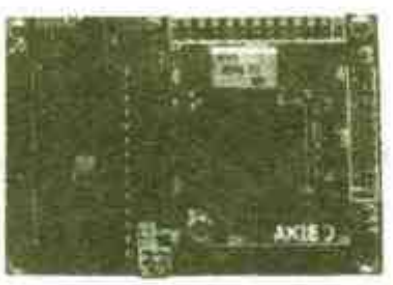


AKI-80

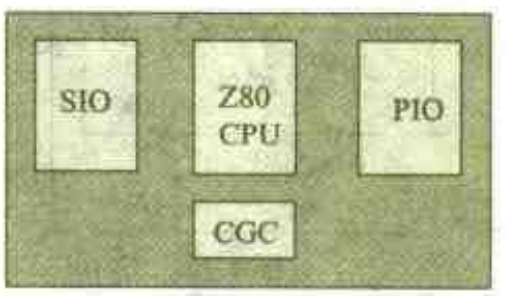
市面上出售多种微机板。“太郎”中使用的是价格便宜、小型而易处理的 AKI-80(秋月电子通商公司制造)。

AKI-80 中使用的是东芝公司制造的单片 IC TMP-Z84C015。该 IC 中集成有 Z80 系列的 CPU、PIO、SIO、CGC 等。

AKI-80 有几个版本,但考虑到使用通信功能时的定时等关系,请选用时钟为 10MHz 的 AKI-80。



AKI-80



TMP-Z84C015



将 AKI-80 的 CPU 视同 Z80 即可。



视为相同也没关系。还有,AKI-80 有成品也有配套零部件,选择便宜的元件组装亦好。组装时,要使用头细的陶瓷型电烙铁,在注意防止静电的同时要谨慎操作。

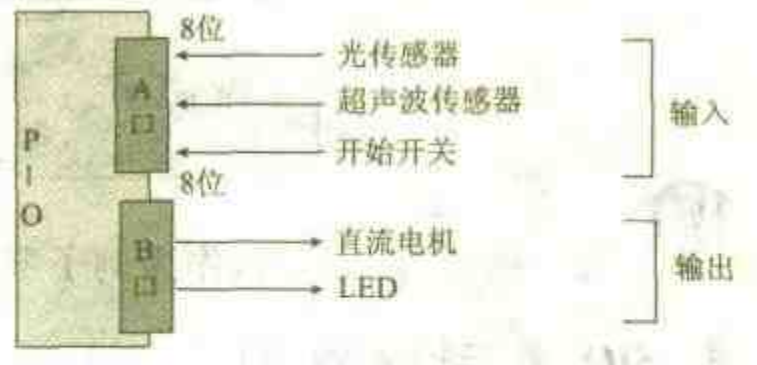
PIO(并行输入输出)



集成在单片 IC 中的 PIO 有 A、B 两个输入输出口。这些口到底用作输入还是用作输出,由程序来指定。“太郎”的情况,A 口作为输入用、B 口作为输出用。



总之,光传感器等输入数据时用 A 口,将数据输出给电机等时用 B 口。





这时,程序怎样写好呢?



为了 PIO 的使用,每个口都准备有数据和指令两个地址。

内部 I/O	通 道		地 址
PIO	A 口	数据	1C
		指令	1D
	B 口	数据	1E
		指令	1F

指令地址中,送入如何使用的数据,以决定口的任务。这种任务的指定由程序的最初部分描述。

功 能	数 据
字节输入	4F
字节输出	0F

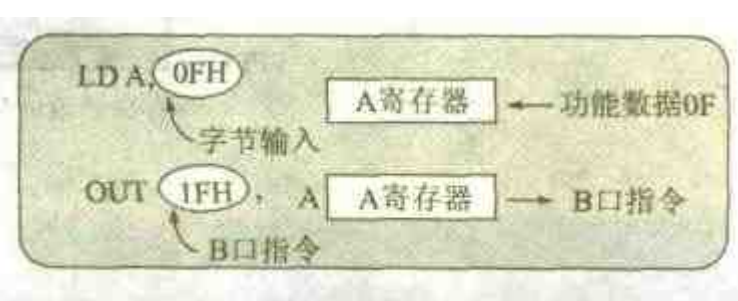
〈口功能的指定数据〉

(例)

指定 A 口为输入口

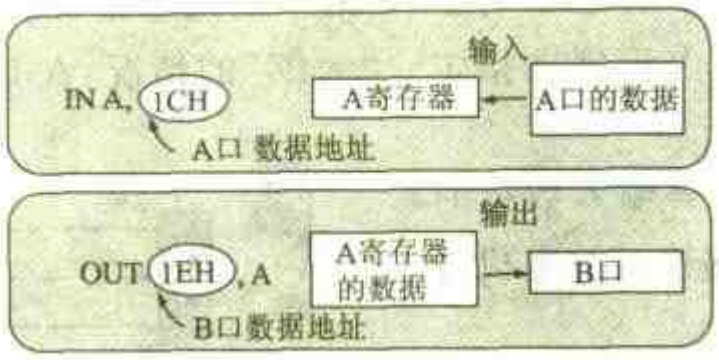


指定 B 口为输出口



若要从口输出输入数据时，要进行口地址和数据地址的指定。

（例）



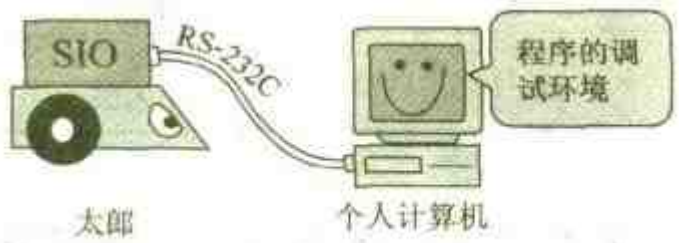


有一些难度。最初，作为例子照样使用就可以吧？

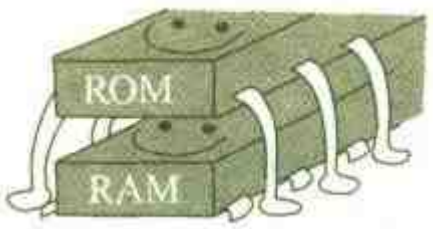
SIO（串行输入输出）



SIO 是在进行程序调试时，用于连接“太郎”和个人计算机。



存储器（RAM、ROM）



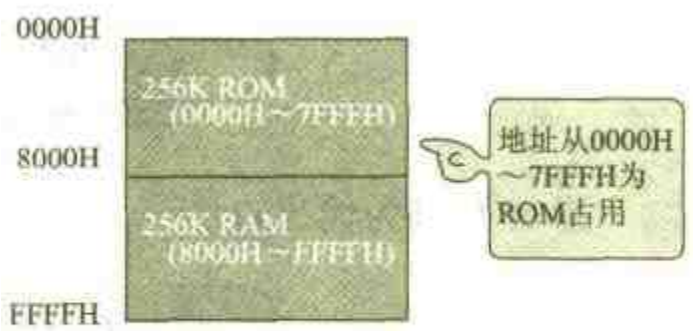


先来说明 AKI-80 的存储器。AKI-80 中，RAM 和 ROM 两者都带有。为小型化，RAM・IC 放置在 ROM・IC 的下方。因而，装上 ROM・IC 后看不见 RAM・IC。

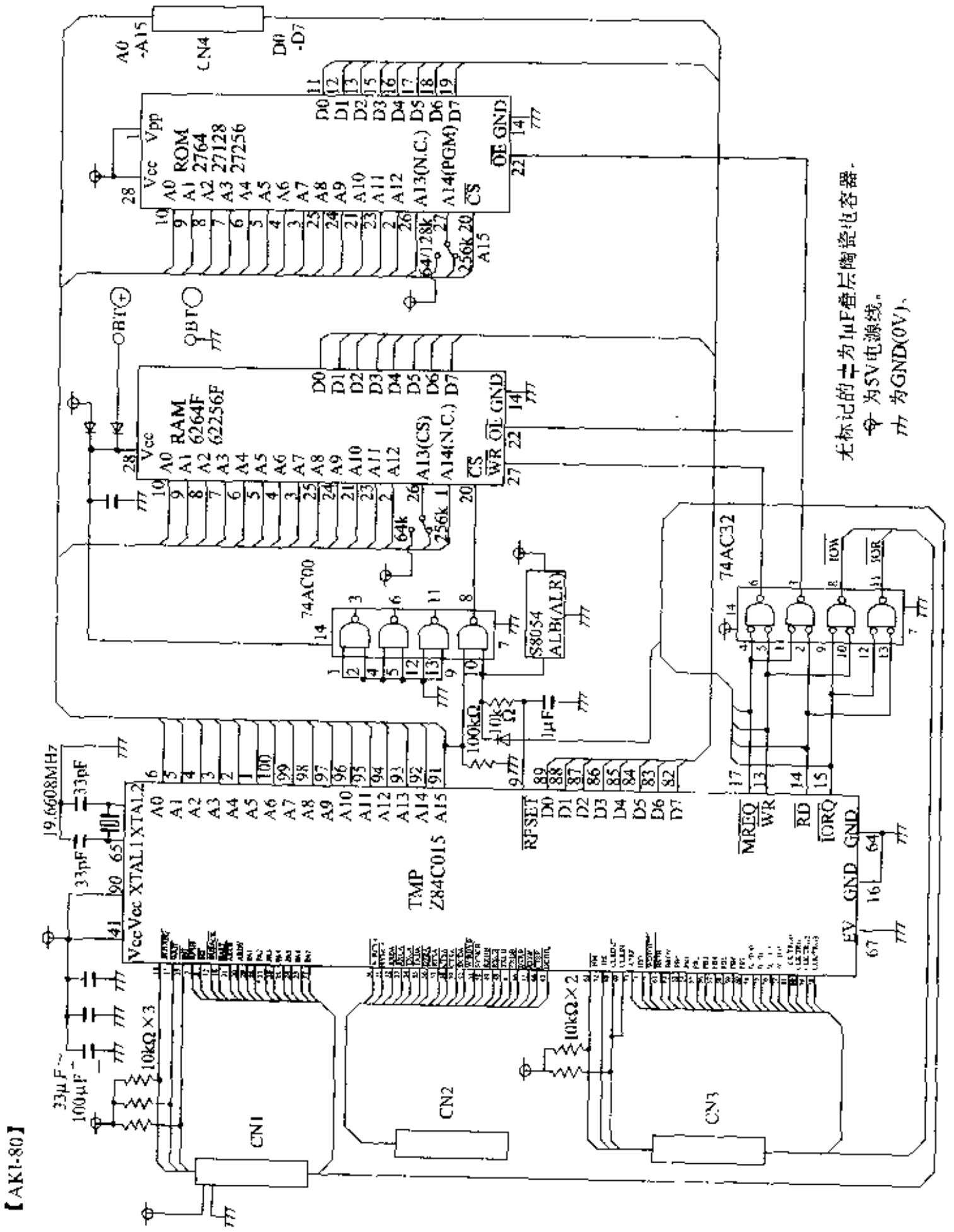
AKI-80 中包含着 RAM・IC，但是 ROM・IC 则要各自另外去买。需购入几个 256K 字节、速度 100ns 以下的 ROM。

按照 AKI-80 所附的说明书，能够顺利进行选择存储器容量的配线。

存储器 ROM 的地址分配为：0000H～7FFFH，RAM 为 8000H～0FFFFH。



<存储器地址分配图>



练习题

1. AKI-80 上使用的单片 IC、都集成有哪些功能？

2. 确认 PIO 的使用方法。

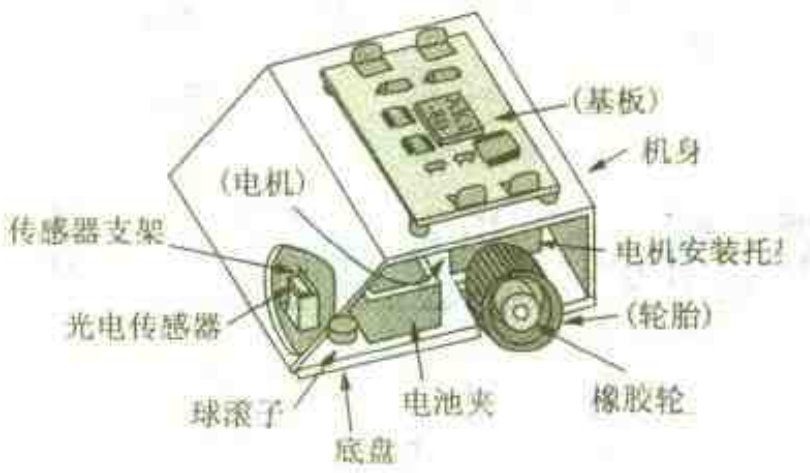
（参照书中内容给出答案）

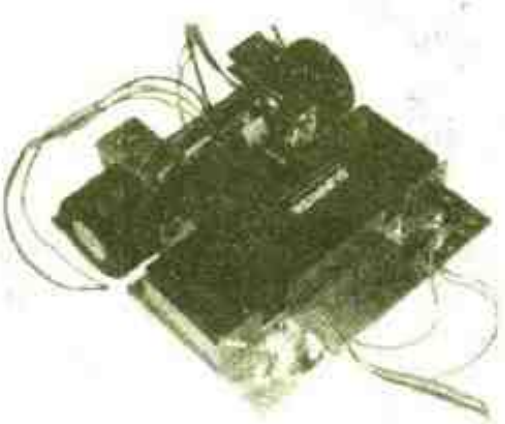
4 机械部分的制作方法



工作准备

先来看看“太郎”是都由哪些部分组成的。

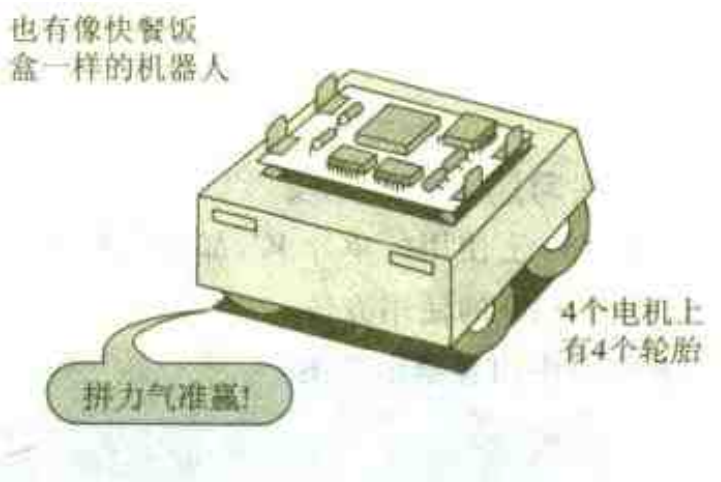




底盘和其上的零件

要做底盘、机身、橡胶轮、电机安装托架、电池夹、传感器支架等等。机身为楔形外形，其他的外形也可以吗？

按照“机器人相扑比赛大会”的规则，机器人的大小和重量有限制（长、宽 20cm 以下，高度无限制，重量 3000g 以内）。只要在限制的范围内什么外形都行。“太郎”是使用两个电机的两轮驱的楔动形，前轮用的是球滚子。当然



也有四轮驱动的以及做成快餐饭盒式的机器人。两轮驱动的是最一般的样子。


对于初学者，这种形式是最容易做的。

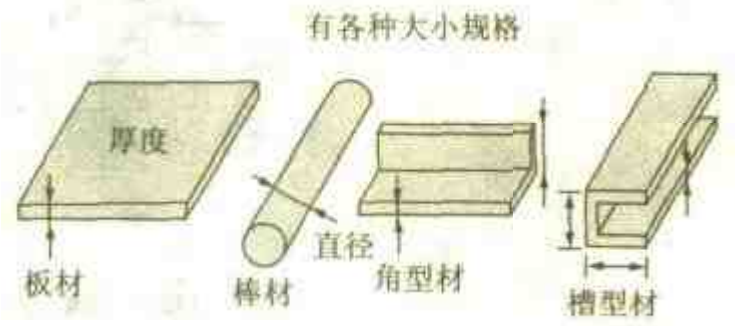

电机只有两个，留出空间好配置其他零件。


使用什么材料？


使用铝材。铝柔软易加工，同样强度下比较轻，因而很适于制作重量有限制的相扑机器人。


铝板和铝棒什么地方有售？


日杂店及经营机械工具的商店都能买到。他们备有各种厚度的板及各种直径的棒料。也有按要求切成所需大小的。而且角型材及槽型材也使用便利。

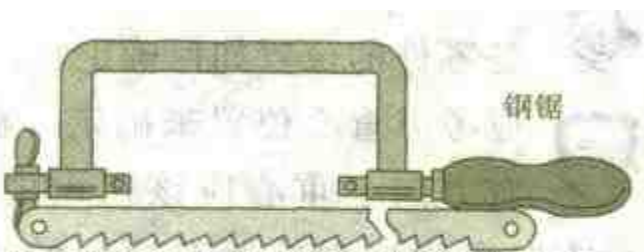



都用什么工具呢？

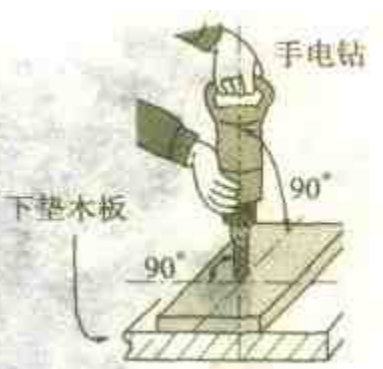

铝材要切割、要打孔、要弯曲。切断要用切割机或钢锯，打孔要用台式钻床或手电钻，弯曲则要用到折弯机或虎钳和锤头。


好像很难呀。


放心好啦。切割机、折弯机、台式钻床是什么地方都有的工具。用这些工具，制作会很简单。用钢锯、手电钻、虎钳也能制作。








只是切割、打孔、弯曲吗？

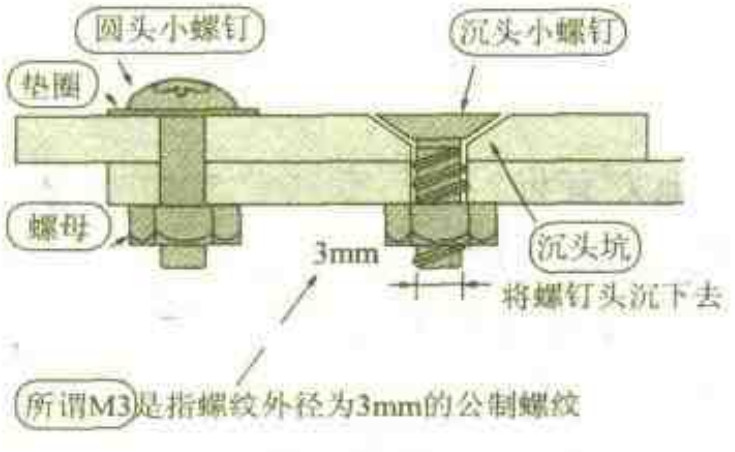

橡胶轮的制作中要用车床。也有用市售遥控汽车用的橡胶轮的。各种尺寸的都有出售。此外也有用丝锥作出螺纹的。


同一部件上的各零件用螺丝固定。

在日杂店中，螺丝、螺母、垫圈装成一小袋的各种尺寸的小螺丝都有销售。这里使用 M3（直径 3mm 的公制螺丝之意）的沉头小螺钉和 M2 的圆头小螺钉两种。

也有各种不同长度的吗？

同一直径的各种不同长度的小螺钉都有售，过长时可用卡丝钳剪断。

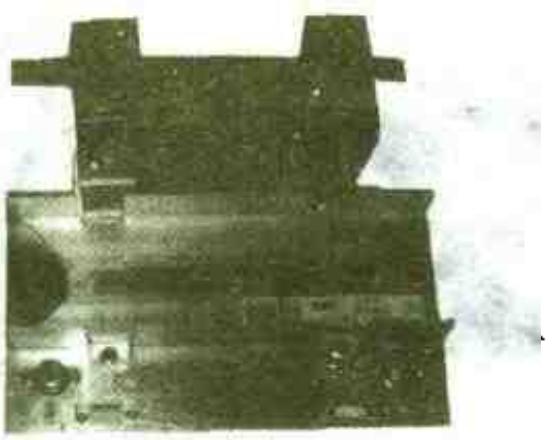


要用些什么材料和工具，已经明白了。

那么来看各个零件的设计和制作。参照 P157～P158 的设计图。

底　盘

底盘要承载许多零件。和对手相碰中如果变形，零件的位置就会错乱，所以要使用厚度 3mm 的结实的板材。



底盘

各零件的位置如何确定？

应考虑重心位置来确定。在左右方向上重心应该在正中、前后方向上为增强轮胎对地面的扒紧力要稍偏向驱动轮一边为好。移动电池的安放位置即可调节重心位置。

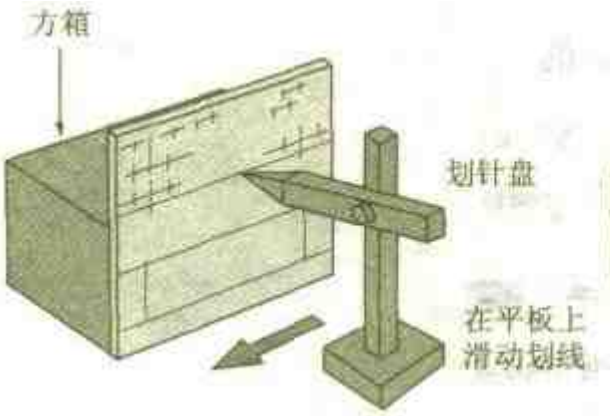
请给我们讲一下工作的顺序。

按照设计图在铝板上划线以便准确地切割，要在打孔的地方中心划个印。这叫“划线作业”。

底盘制作顺序

① 材料切成 185mm×190 mm，或请店里切料。
② 划线作业
③ 打孔并作沉头锥坑
④ 用钢锯切割
⑤ 用锉刀精加工
⑥ 打螺纹

若使用专用工具就能准确完成划线作业

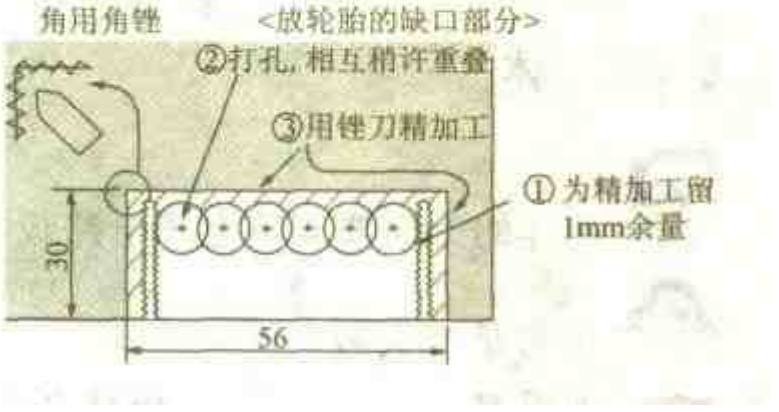




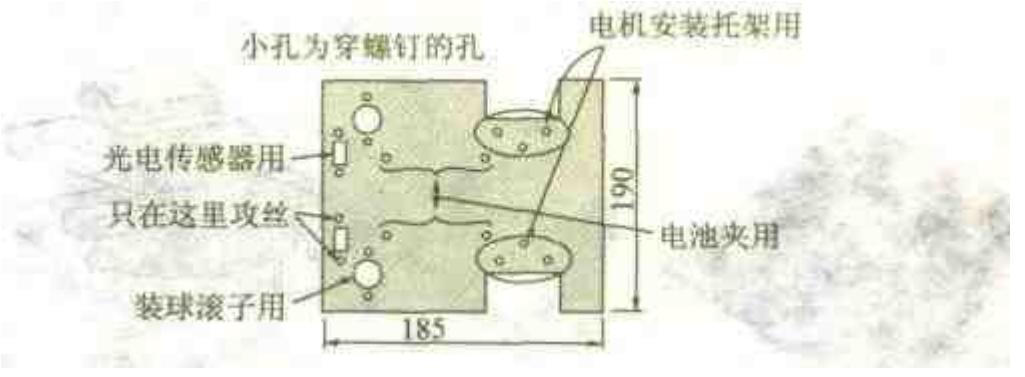

划线作业


工作中困难的地方在哪里？

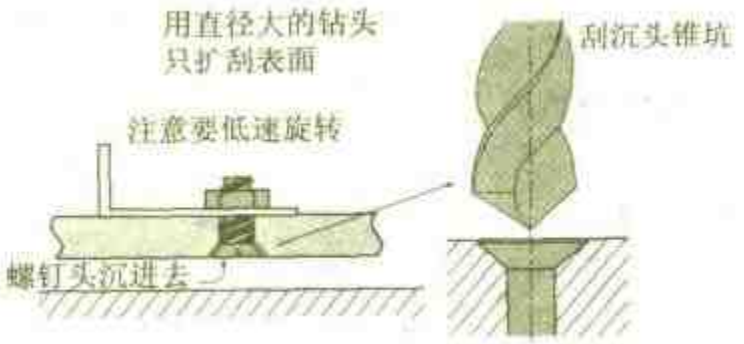

因为钢锯对安装轮胎的缺口部分及光电传感器用的孔不能加工，所以要使用钻子和锉刀。




为了将零件固定在底盘上，要打许多拧小螺钉的孔，这时要注意些什么？




打穿 M3 螺钉的孔用直径 3mm 的钻头，打穿 M2 螺钉的孔用直径 2mm 的钻头。由于钻头旋转振动，打好的孔直径约为 3.2mm 和 2.2mm，所以螺钉可以顺利穿过。小螺钉从外穿向内用螺母固定，麻烦的是底盘的底侧会露出小螺钉的头。为此，作沉头锥坑，将螺钉头沉进去。

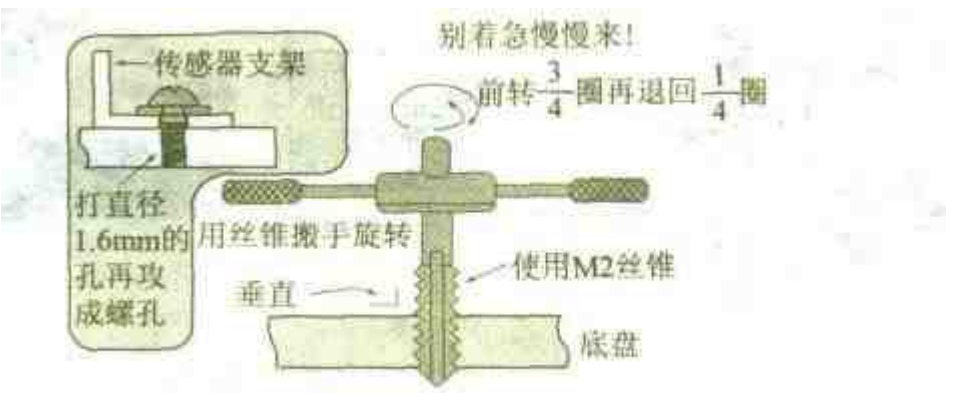




相扑机器人和摔跤场间的间隙很小，所以将螺钉头沉入底盘是很有必要的。



只是在固定传感器支架的地方要攻 M2 的螺纹。



基 体



基体的上面要安装电子电路板。前部为使对手悬空而折弯成楔形。



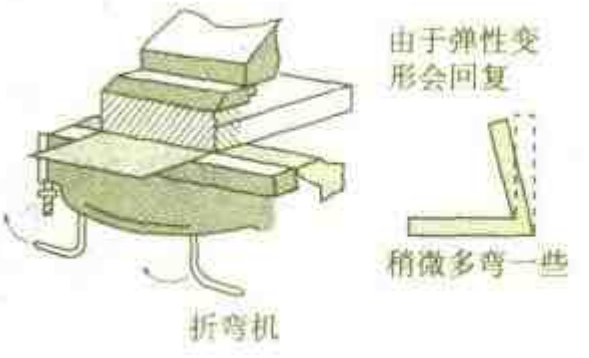
折弯是怎么做?



如果有折弯机，多厚的板材也能简单地折弯成各种角度。但是，力取掉后其变形会像弹簧那样多少有点回复(回弹)，所以应估计其回复量多弯一点。



基体(背后摄影图片)

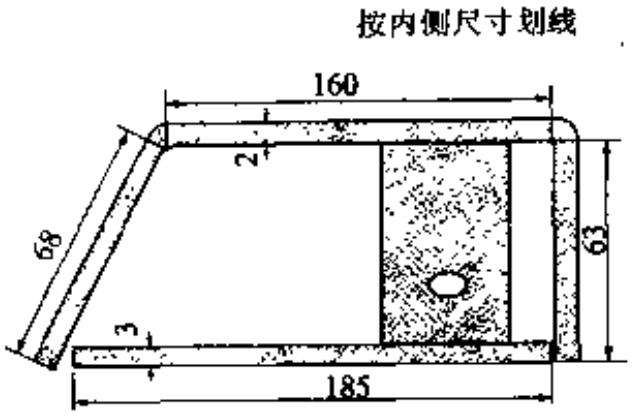




与做底盘一样，首先要做划线作业。



有一点要注意。折弯板时由于有一定厚度，内侧与外侧的尺寸是不同的。多数是线为内侧进行折弯，这样成形后外侧的尺寸约大一个板厚，请予以注意。

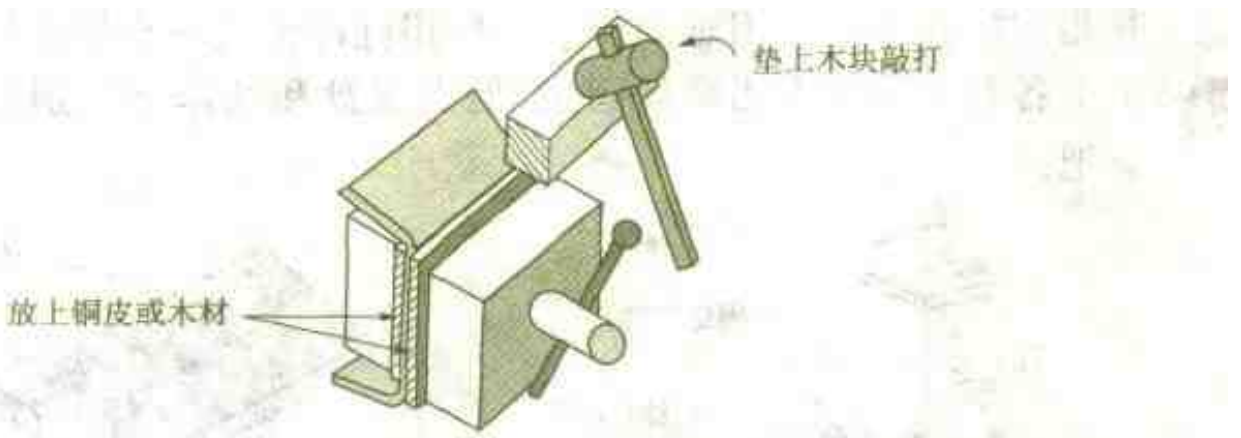




用虎钳也能折弯吗？



对 2mm 厚的铝材来说，完全可以。但要折弯得齐整应下功夫。为不伤材料要在虎钳与材料间夹垫柔软的铜皮或木材，锄头不直接敲铝材而是通过木块敲打。而且，用划针等划出折弯部分的外侧刻上印即可完成齐整的折弯。



电机安装托架



电机安装托架，有连接底盘和机身、固定电机的作用。



电机的安装位置由车高决定。



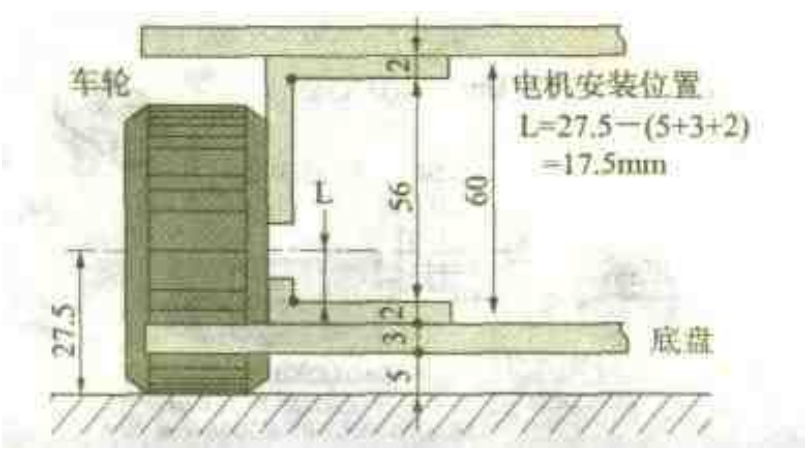
由于使用球滚子，前部的车高约为 5mm，所以后部也同样要设计为 5mm。



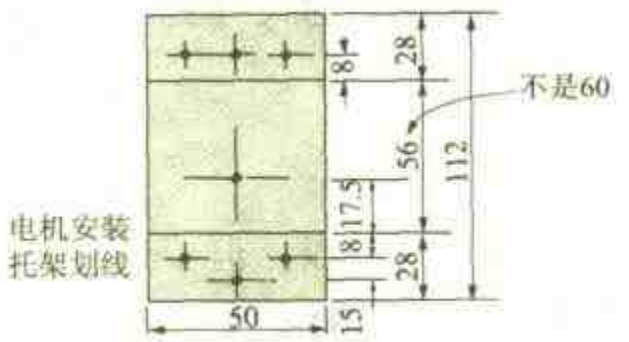
正确的钻开电机轴的穿孔是很重要的。



轮胎的直径为 55mm，所以电机的中心位置按下图确定。



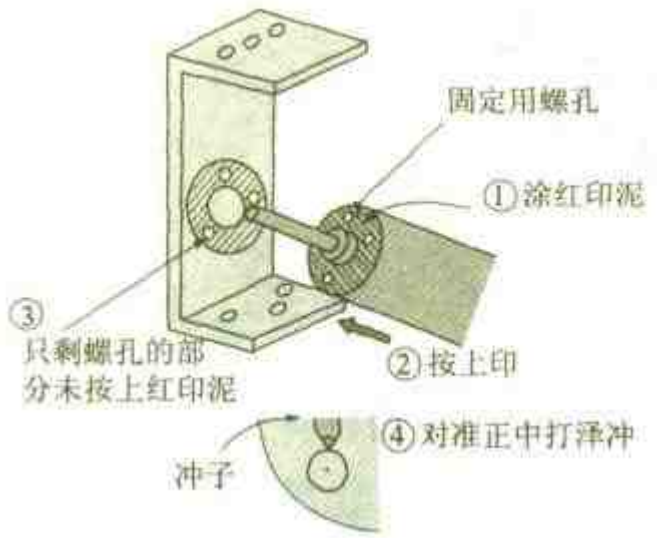
考虑到板厚，应按下图划线：

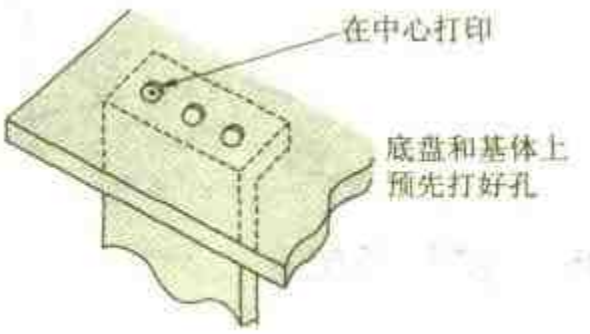


电机怎样固定在托架上？

这次使用的电机上有预先做好的固定用的 3 个螺孔。但要在托架上钻与其相配的孔是较为困难的作业。使用红印泥是一个好方法。

上下各有 3 个地方用螺丝固定，但在底盘和基体上分别正确地钻孔我没有把握。

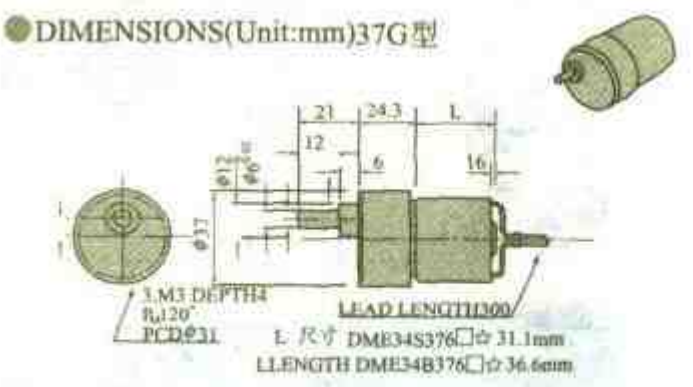




底盘和基体上的孔正好对上组装简单。

使用哪种电机好？

选择电机时要考虑形状、额定转速和扭矩等。这次使用的是与减速齿轮做成一体的传动电机，型号为 DME34B37G18A（日本伺服电机株式会社制）的直流电机。




如果扭矩大转速高，机器人会很强大吗？


很遗憾，扭矩与转速是成反比的。要产生大的扭矩速度就会下降，而想要产生高速度扭矩则会减小。和汽车的低速齿轮与高速齿轮的关系一样。


扭矩大的是可以强力顶对手的“顶推相扑型”，转速高的则为“速度相扑型”。


速度太快时，光电传感器感知到摔跤场边缘后，来不及转换方向就会飞出而“自杀”。还有，即使扭矩很大，但如果轮胎在摔跤场上扒不紧时还会产生空转打滑。所以既要使轮胎表面不易打滑，又要增大加在轮胎上的重量。


速度与扭矩过大是否无用？


使用大电机的确有利，但是有一个限度。



轮胎转一圈只前进($2\pi r$[m])，
所以转速为n(r/min)时，车速=$2\pi r \times n$(m/min)

车轮

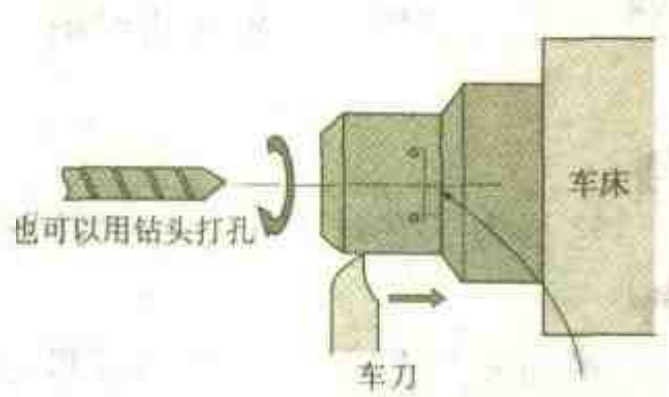

因为容易找到适当大小的遥控汽车用的海绵状轮胎，所以可以亲自制作与其相配的轮子。这可以简单地用车削制作。而场上也有将遥控汽车用的轮胎与轮子一起配对出售的。


怎么将轮子与电机轴固定？


钻两个螺孔，用顶丝固定。还要考虑海绵状轮胎与轮子间的防滑问题。


可以使用双面胶带纸。


车轮及其安装



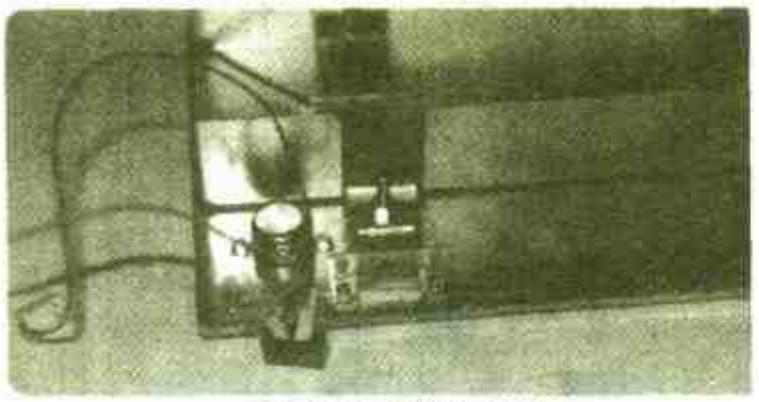
光电传感器、电池、电路板的安装



光电传感器支架、电池夹子等要用角型材加工自制。制作时要符合所用的光电传感器与电池的形状。电子电路板用四根六角柱头螺钉固定于机身上。



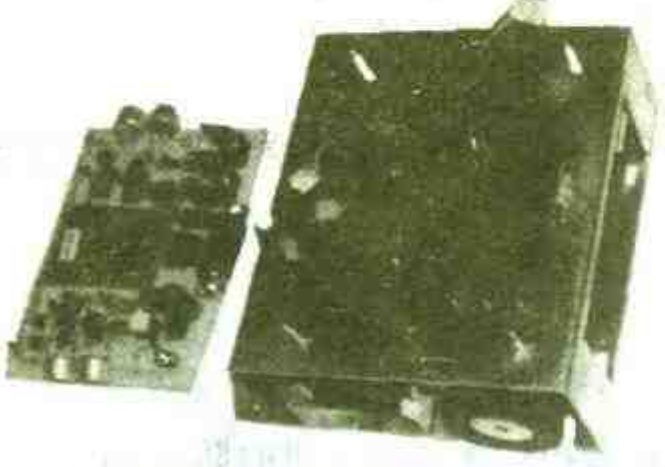
孔位置可与实物配作。



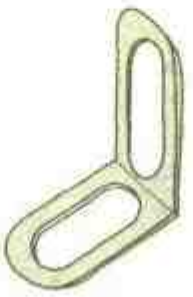
光电传感器的安装



电池夹子(加工角型材制作)



电子电路板的安装



L形架



六角柱头螺钉



小型球滚子(球轴承)



光电传感器的位置在边缘啊。



这是为了在球滚子未掉离摔跤场前检测摔跤场边缘转换方向。



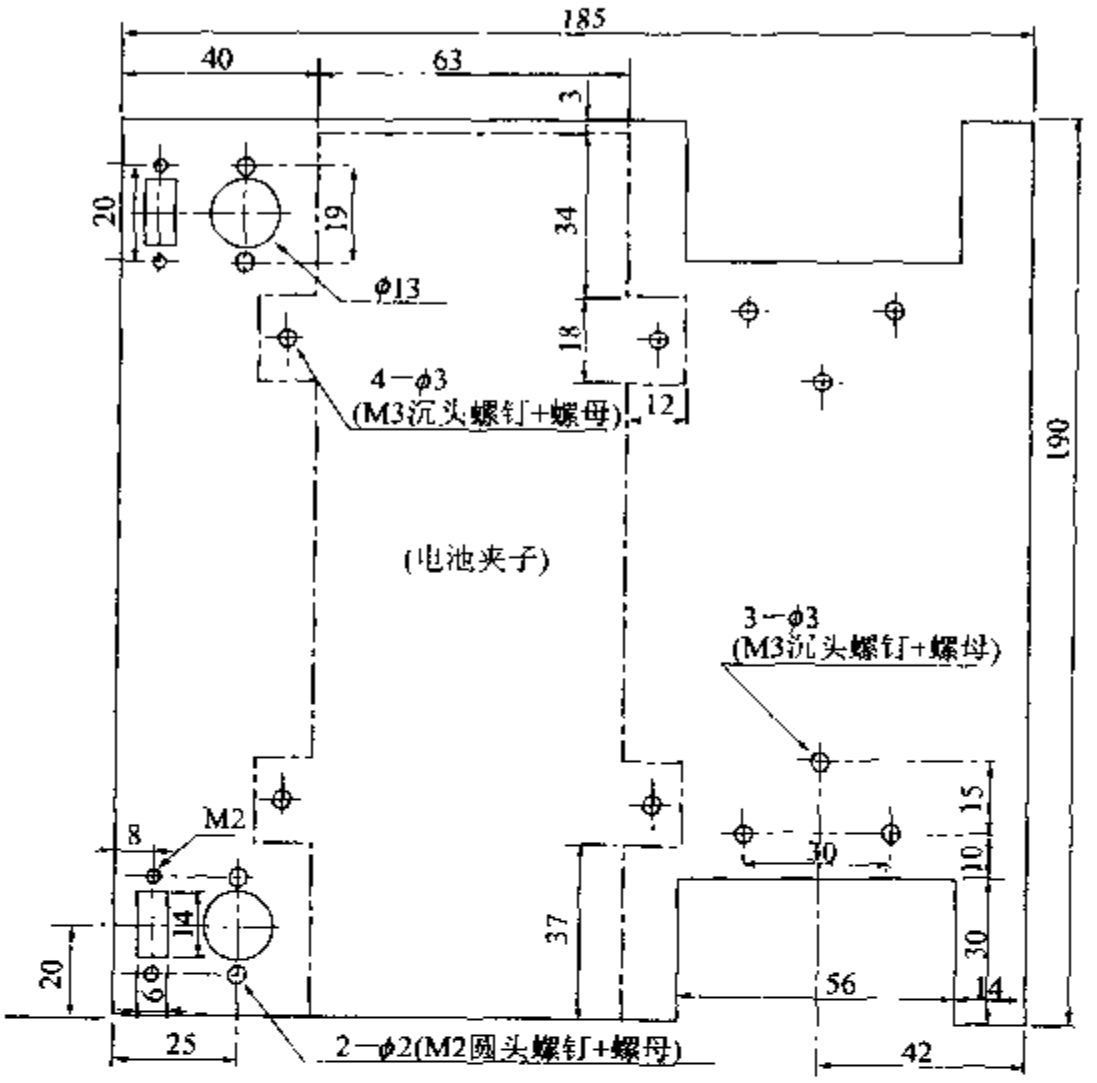
准备零件后用小螺钉和螺母进行装配。



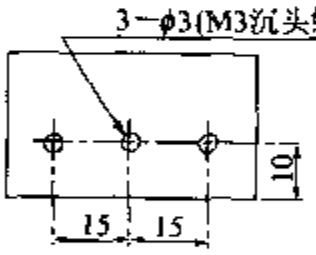
在手难进去的狭窄地方，将螺母粘在食指上进行工作会很简单。



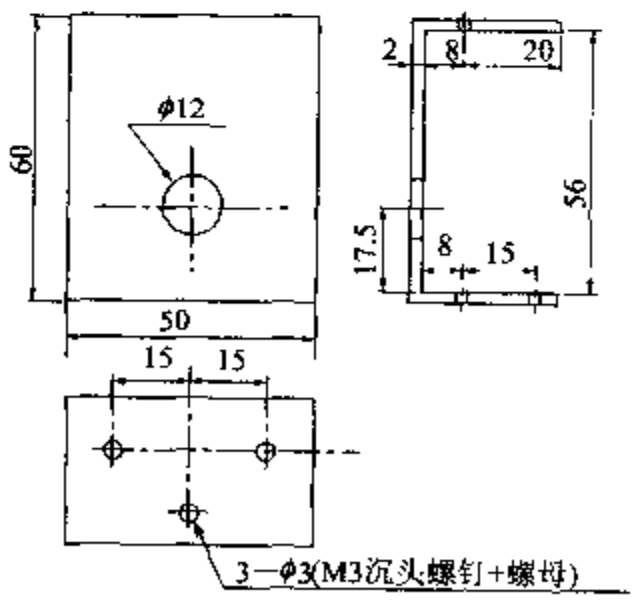
最后，将传感器、电机及电池的引线连接到电子电路板上。



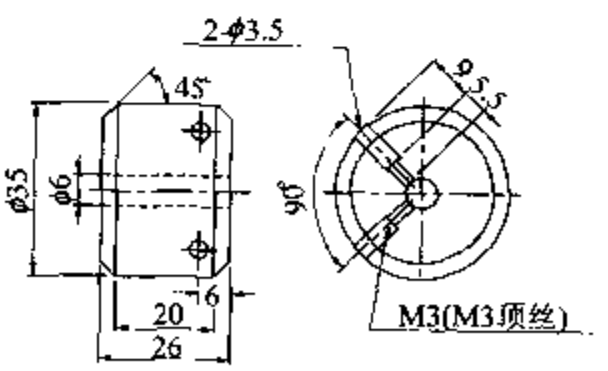
底盘设计图
材料
(190mm×185mm×3mm)
(注)3—φ3(M3沉头螺钉+螺母)是表示用直径3mm的钻头在3个地方打孔,再穿入M3的沉头螺钉用螺母去固定零件

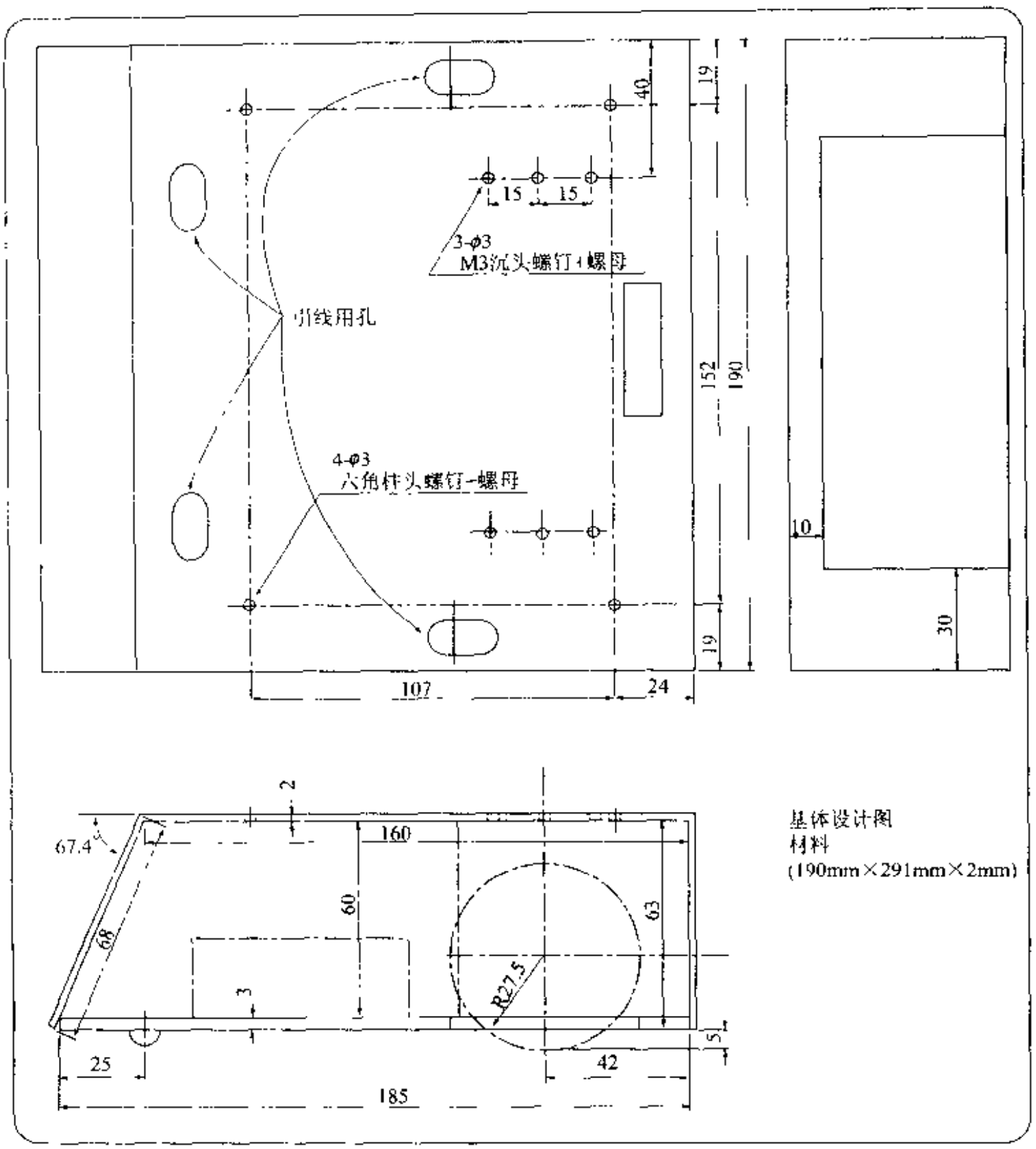


电机安装托架设计图
材料
(112mm×50mm×2mm)



车轮设计图





基体设计图
材料
(190mm×291mm×2mm)

为使引线能经受激烈的相扑角斗，应在机身的适当位置钻孔使其穿过，以使引线尽可能地短。

练习题

1. 举例说明钣金加工的一般工艺顺序及所使用的机械与工具

答案(参照书中内容)

2. 相扑机器人的机械加工中最需注意的地方在哪里？

解答

折弯板时要考虑到板的厚度。还要特别注意电机安装托架的加工。

5 电子电路的制作方法



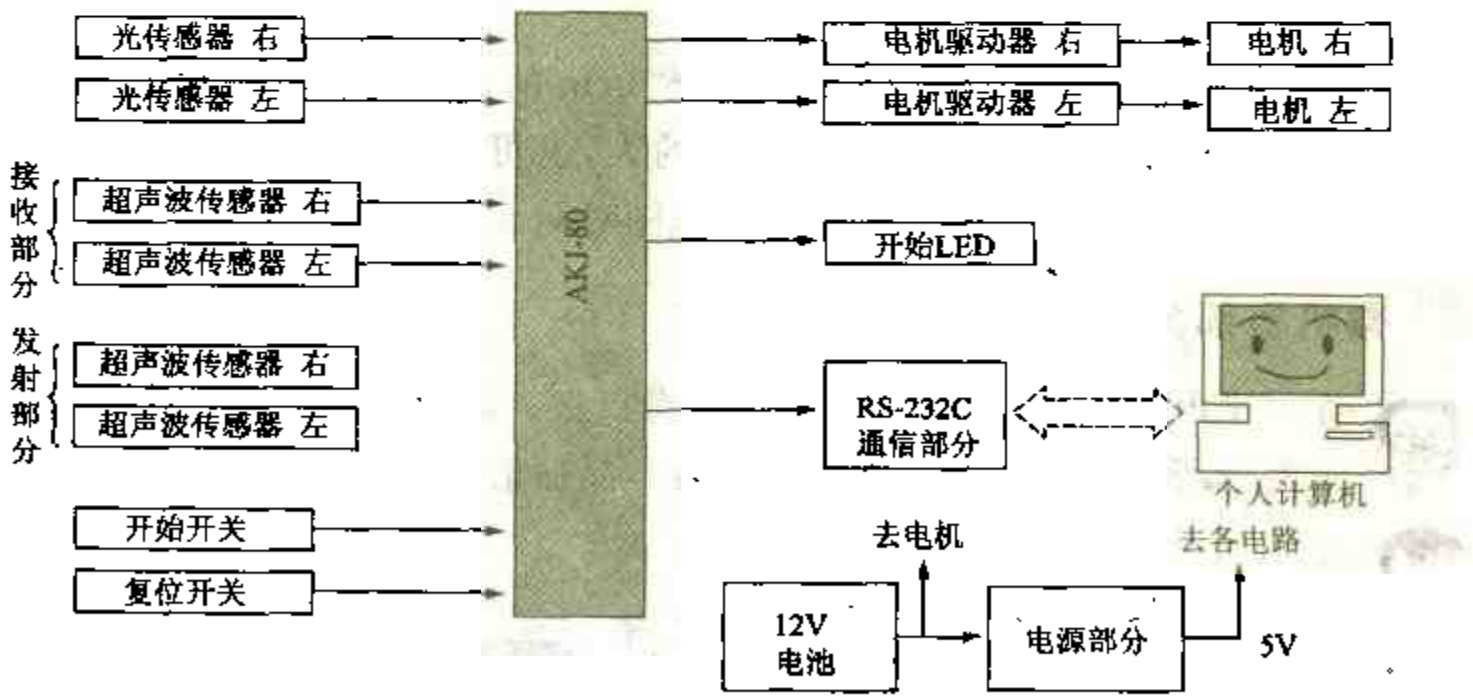
“太郎”的电子电路



在前面(P140)已经给出了“太郎”的电子电路图。这里示出其方框图。



该方框图以 Z80 微机板为中心，由光电传感器部分、超声波传感器部分、电机驱动部分、RS-232C 通信部分及电源部分等组成。



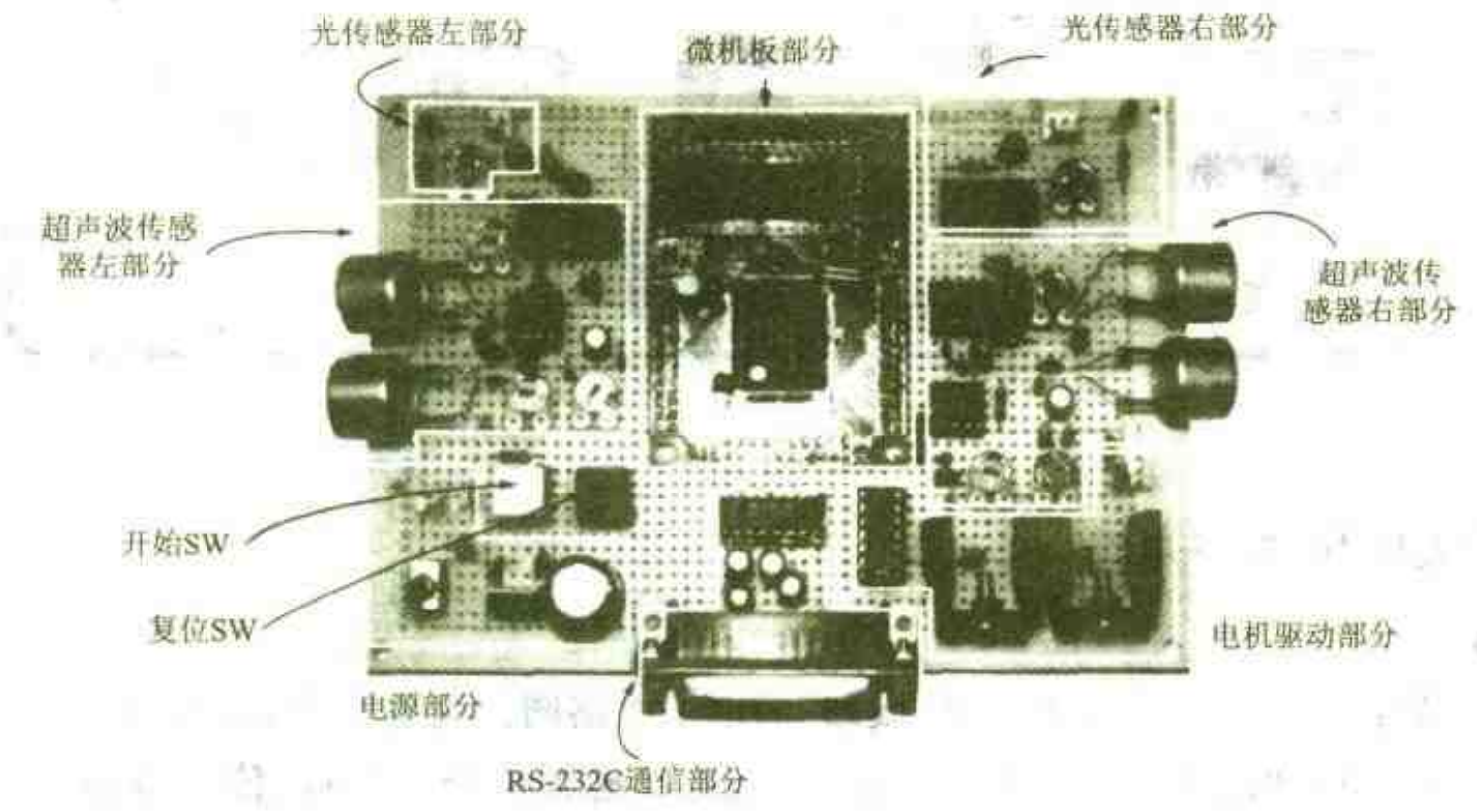
太郎的方框图



AKI-80微机板上，准备两个输入输出口。

A口和B口。

这些口如何使用需在程序中指定。“太郎”中分配A口为输入用、B口用作输出。



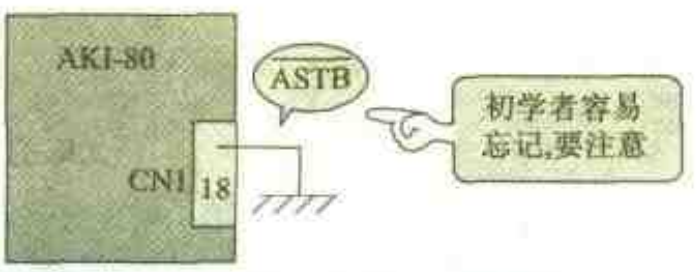
电子电路板全貌

将电子电路组装在一块11.5cm×16.0cm的通用印制电路板上。引线使用的是0.5mm的单芯导线。但有把握的人，也可以自己用蚀刻法制作电路。这里给出了电子电路板的照片，请与方框图对照。

微机板部分

在电子电路中核心部分是AKI 80微机板。因为有一些细的引线，请先仔细阅读所附的说明书后细心地组装。晶振请使用19MHz的。

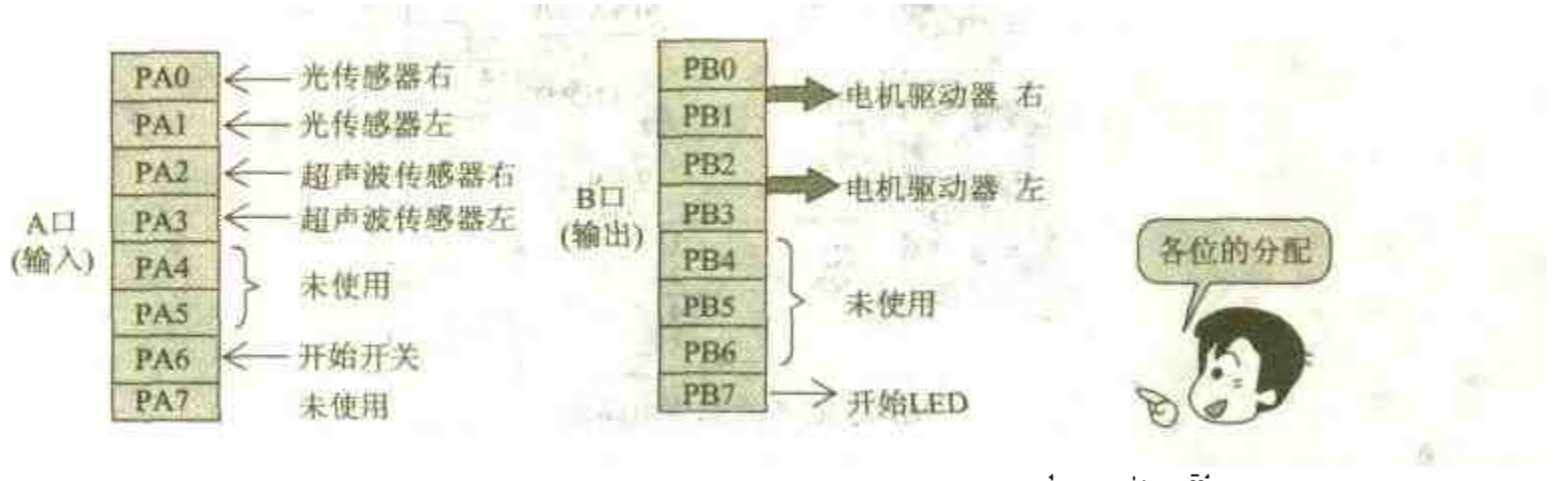
还有其他要注意的事项吗？



还有一个很重要的注意事项。如前所述，“太郎”是将A口作为输入使用的。为此要将微机板的$\overline{\text{ASTB}}$端(CN1-18)接地，否则会以很高的概率出现误动

作。

先决定输入输出口各位的分配。



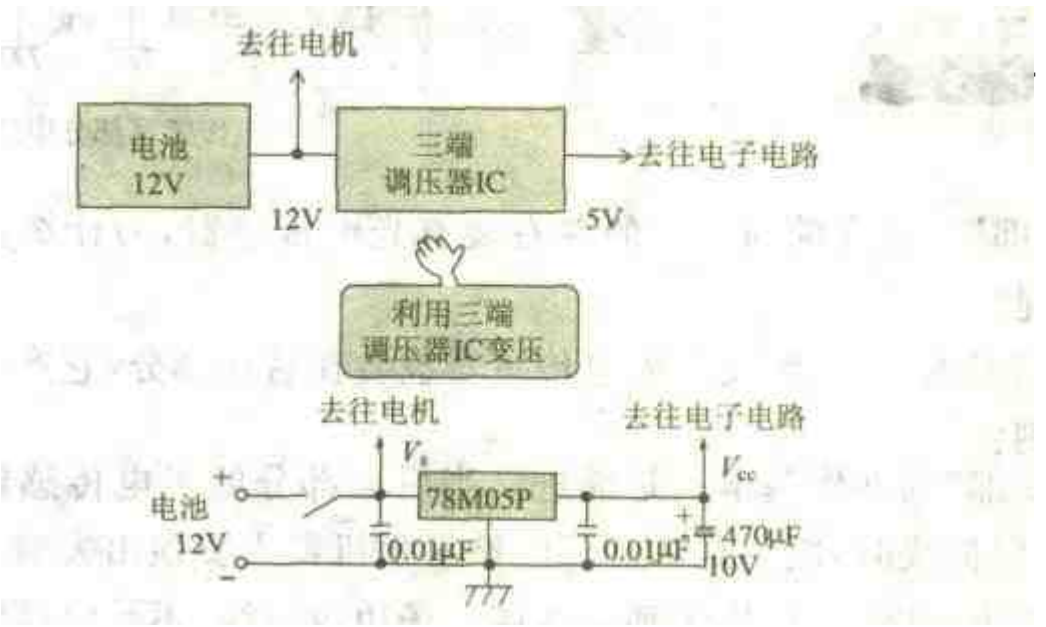
电源部分


"太郎"的电机要用 12V 电源，电子电路要用 5V 的电源。


就是说要使有两块电池是吗？


不是的。"太郎"不是使用两块电池，而是从一块 12V 电池，通过三端调压器 IC，取得 5V 电压。

"太郎"使用的电池是 12V 的充电电池。市面上出售有各种类的充电电池，可考虑规格、大小及重量等进行合适的选择。

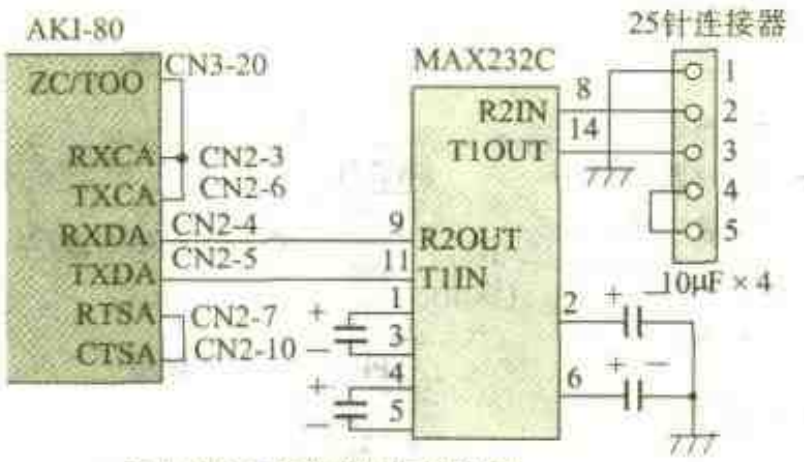


电源部分电路图

RS-232C 通信部分


RS-232C 是进行程序调试时，为将微机板与个人计算机连接起来而设置的电路。

电路板上安装 RS-232C 用的 25 针孔连接器。



RS-232C通信部分电路图

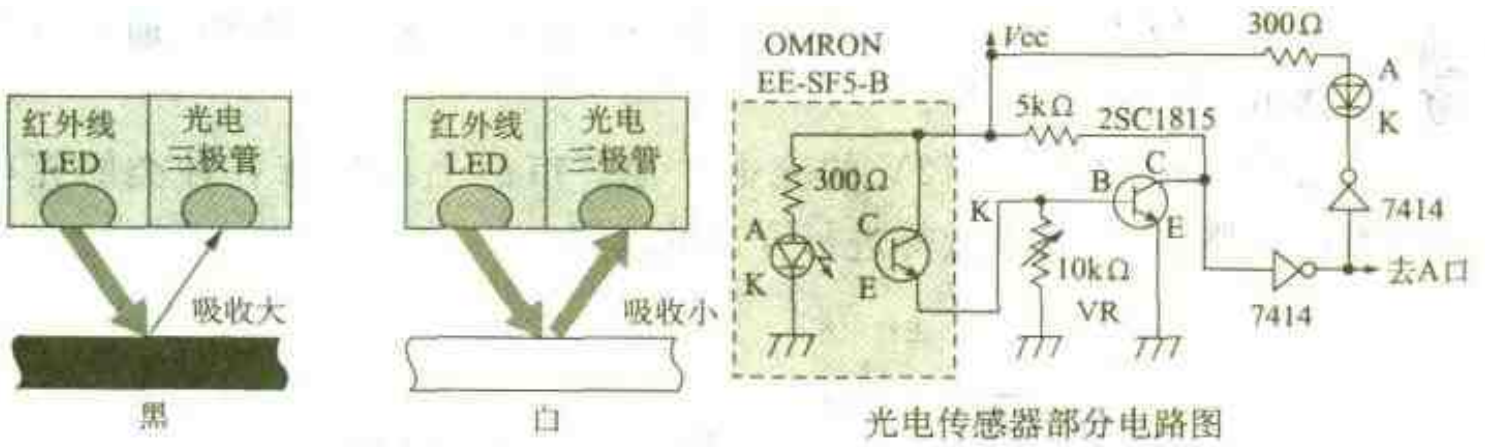
光电传感器部分



光电传感器的作用是检测摔跤场的白色边缘线是不是?



是的。它是利用黑白色对光的吸收率不同,使用的是反射型红外线传感器。为调整灵敏度时的便利,还装有 LED 监测器。



光电传感器部分电路图



“太郎”只是在前面部分的左右装有光电传感器,为什么在后面的部分不装呢?



你们考虑一下,假设将光电传感器也装在后面部分,它产生反应是在什么时刻?



“太郎”的动作基本上是前进。当后面部分的光电传感器检测到摔跤场的白框线时,岂不是“太郎”已被对手机器人要顶出去啦。



要顶出去时,即使检测到一些摔跤场边缘白线,不是已经没有有效的对付办法了吗?





“太郎”正是出于这种考虑而不在后面部分安装光电传感器。还有，如果给光(红外线)加以调制，还可提高可靠性、防止场地照明等引起的误动作。但是实验结果表明，这里示出的未调制的电路也非常实用。为便于区别摔跤场内的黑色与摔跤场边缘的白色，可观察着 LED 监测器进行 10kΩ 的半可变电阻器的调整。

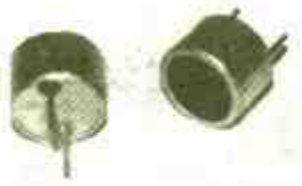
超声波传感器部分



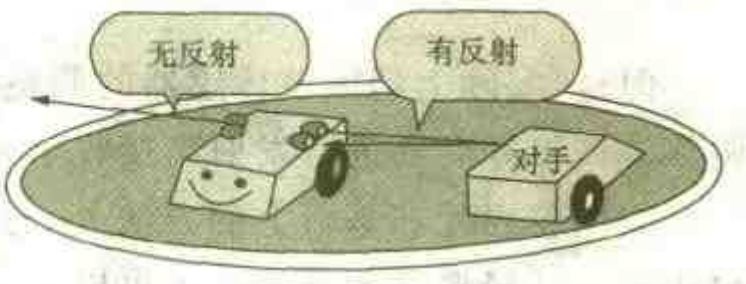
为发现敌人而设置的电路就是超声波传感器部分。



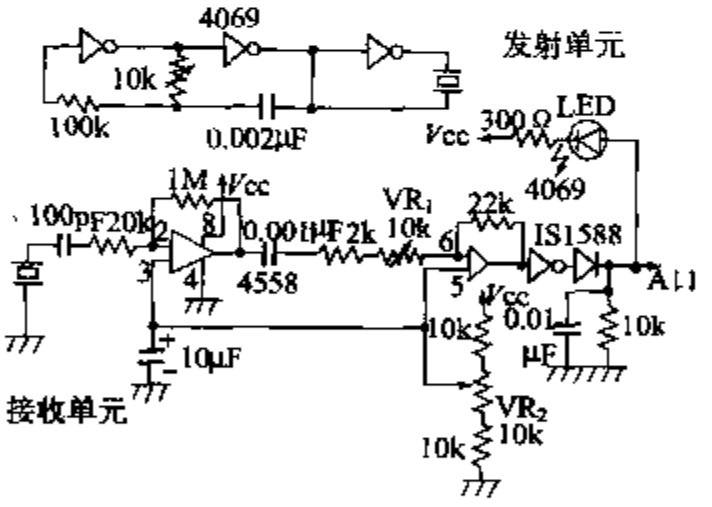
此超声波传感器是利用 40kHz 的超声波，根据其反射的有无来发现对手机器人。



超声波传感器单元



电路由发射部分和接收部分组成。虽然发射部分也可以共用，但“太郎”上携带有左右各自独立的发射部分和接收部分。也安装有调整用的 LED 监测器。



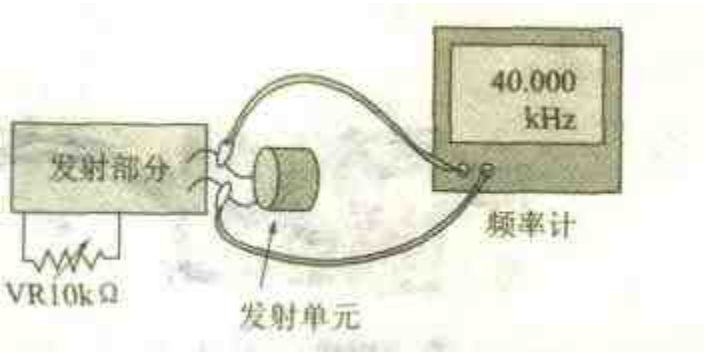
超声波传感器部分电路图



可变电阻有许多，怎么调整？



先调整发射部分。使用示波器或频率计，调整可变电阻 VR，使得加于发射单元的信号频率为 40kHz。



接收部分调整两个可变电阻。为的是边改变发射与接收单元间的距离、角

度、高度等，边感知处于适当位置的对手机器人。



没有确定的调整方法吗？



当然有，从电路的原理考虑有调整的顺序。

接收部分的调整

① 切断发射部分的电源；
② 将可变电阻 VR_1 调至最大；
③ 将可变电阻 VR_2 调至监测 LED 刚亮；
④ 降低可变电阻 VR_1，调至监测 LED 刚亮。

但是，实际上超声波传感器的调整很难按道理进行。建议反复耐心地进行调整。调整好后要进行发射与接收单元的防振处理。

除用胶固死在基板上的方法外，与其相反，也可以考虑在单元的下边放海绵垫等来减轻振动的方法。也可以用实验试试各自的想法。

超声波传感器的调整虽然麻烦，但一旦调整好，其后即能稳定地工作。

电机驱动部分



“太郎”使用两只直流电机。



微机控制中经常使用脉冲电机(步进电机)，为什么这里采用直流电机？



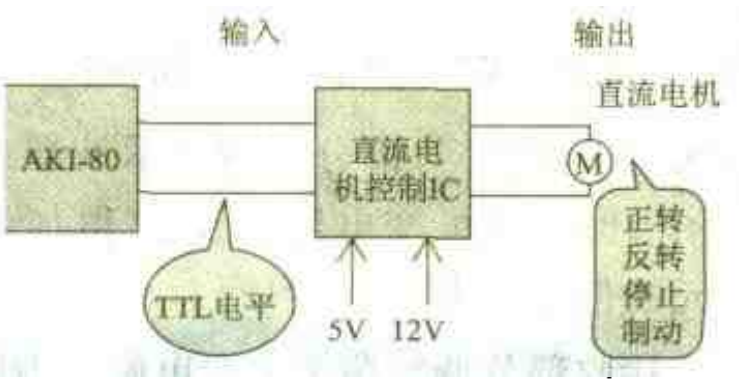
与脉冲电机相比，直流电机能够取得很高的旋转速度。如果将齿轮头装在直流电机上减速，还能获得适当的速度和扭矩。低速、低扭矩的脉冲电机，并不适于作相扑机器人的腿。“太郎”用的是日本伺服电机株式会社制造的型号为 DME34B37G18A 的转速为 277r/min 的电机和齿轮头。



如何控制电机的正转、反转与停止？电机旋转时也要控制很大的电流吧？

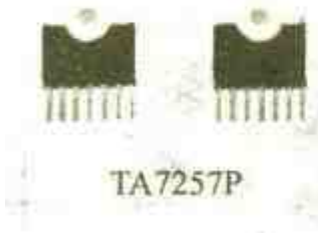


直流电机+齿轮头



直流电机可使用大电流用的三极管或 FET(场效应管)进行控制。而且市面上也有直流电机控制用的便利的 IC 出售。“太郎”就采用这种 IC。这里来介绍“太郎”使用的东芝公司制直流电机控制用的 IC-TA7257P。

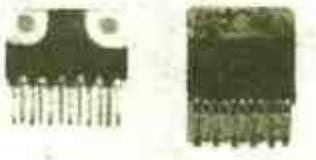
该 IC 按照输入到每个输入针上的 TTL 电平,可选择电机的 4 种动作模式。


TA7257P

输入	输出	模式
1　1	L　L	制动
0　1	L　H	正转
1　0	H　L	反转
0　0	高阻抗	停止



IC 能够控制的平均输出电流为 1.5A。因为“太郎”使用的电机的规格为 12V、0.76A,所以即使考虑了与对手机器人相顶时的负载电流,TA7257P 也是足够用的。想控制更大的电机电流时,还有同样为东芝公司制的 TA8429H 及 SGS Tomson 制的 L6203 等。电机驱动 IC 上还装有散热片。

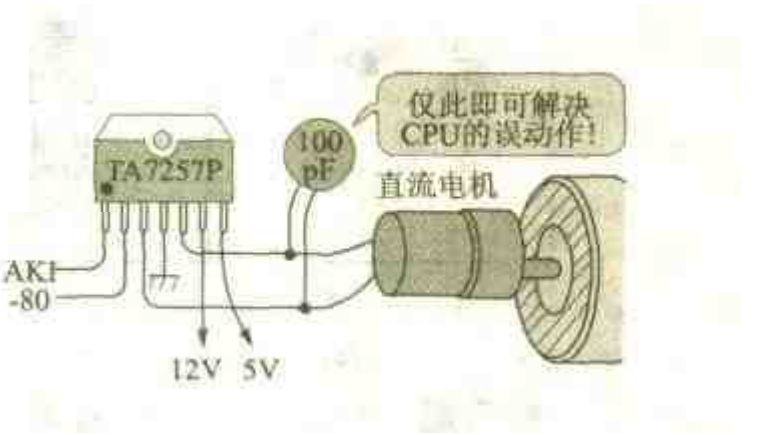

TA8429H, L6230

如果使用专用 IC,直流电机的控制能变得简单,是不是?

可是,在使用直流电机时,微机板常有误动作。其原因是,直流电机旋转时电刷产生的电噪声会给微机板以不良影响。

怎么能解决这一问题?

给电机的输入端接上 100pF 的小电容试一试。用这种方法大体上可以解决。



仅仅一只电容就能防止误动作。

其他电路

除了上述的主要电子电路部分外,以下的电路也是必需的。

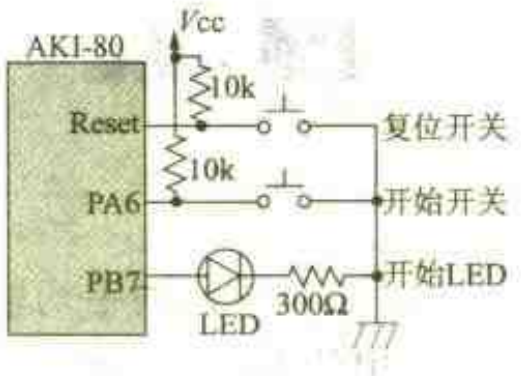
其他电路

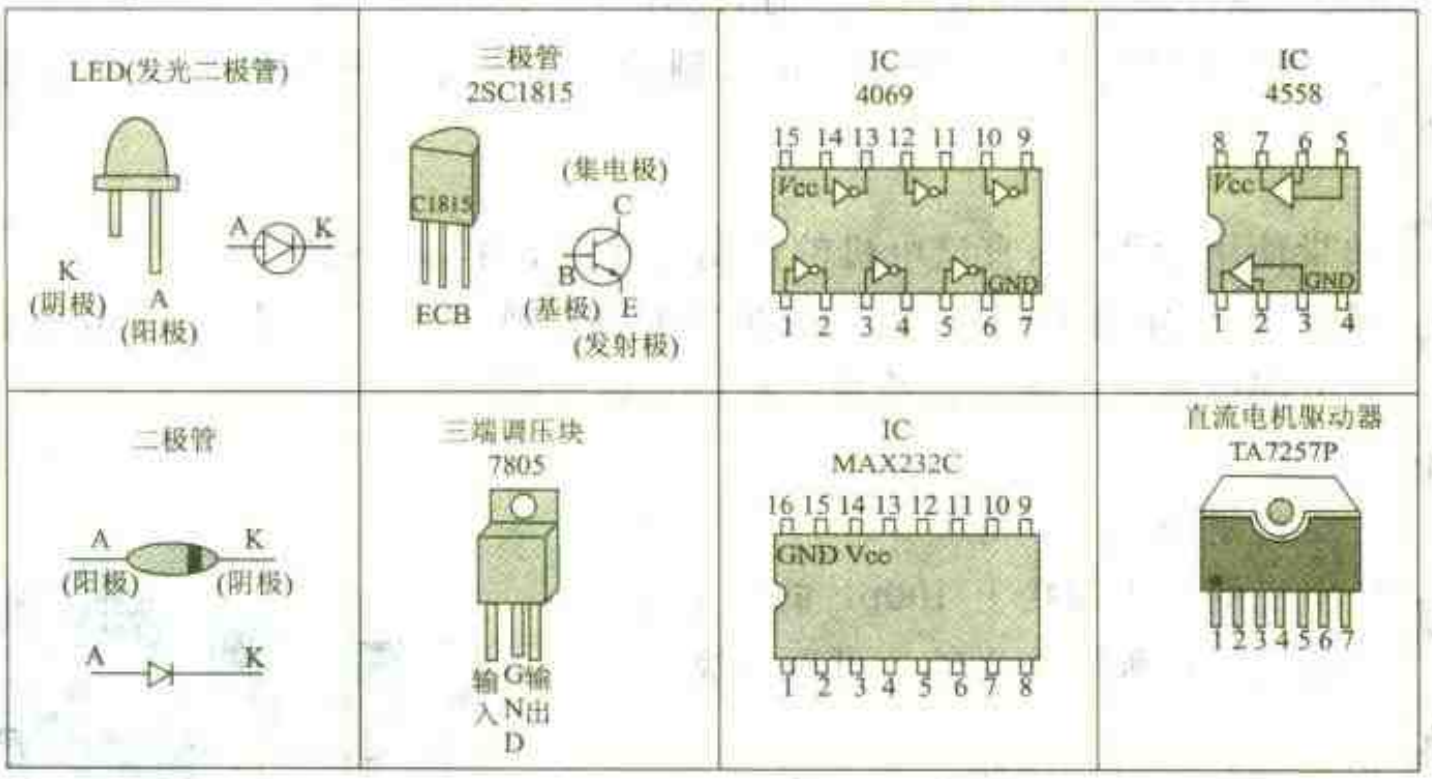
① 复位开关
　使微机板复位时使用。
② 开始开关
　使“太郎”开始工作时使用。
③ 开始 LED
　按下开始开关后直至太郎开始动作前的 5 秒钟时间监视时使用。

全部电路并不是一齐组装，而是分部分组装，确认工作正常后再组装下一部分。

以上是全部电子电路的介绍。请用 P140 的电路图对原理进行确认。

下图示出了所使用的半导体器件的引脚配置。





练习题

●组装“太郎”的电子电路时都有哪些注意事项。

解答

为防止静电，应使用陶瓷绝缘的小型电烙铁；
充分考虑各部分的配置，要平衡良好；
确认各部工作正常的同时再进一步制作；
不要弄错 IC 等的引脚配置等。



6 执行文件的制作方法



程序语言


微机板用的执行程序是用个人计算机作成的。


但是执行程序最终要写入 ROM,装在微机板上。


是的。下面介绍为写入 ROM 制作执行程序的顺序。使用 ROM 写入器将执行程序写入 ROM 的顺序在下节介绍。




使用的程序语言是什么?


介绍以下 3 种语言的使用例子。

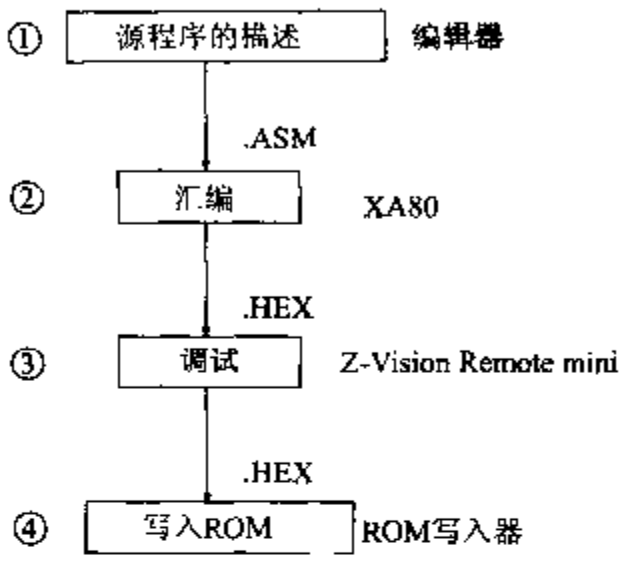
程序语言

① 机器语言
② C 语言
③ BASIC

具体使用的是 System Load 有限公司发售的下述版本。

① XA80 Ver. 2. 1
② MINI C Compiler Ver. 1. 0(限定版)
③ Z80BASIC 编译器

以上无论哪一种都能以合适的价格从秋月电子通商有限公司买到。使用环境设定为 PC98 系列 MS-DOSVer. 3. 1 以上。



机器语言



用机器语言编写执行程序时的流程如右图所示。

用机器语言编制执行程序的顺序

① 使用编辑器记述程序。作为扩展名为. ASM 的文本保存；
② 用 XA80 汇编程序汇编。作成扩展名为. HEX 的执行文件；
③ 用 Z-VISION mini 调试器调试；
④ 用 ROM 写入器将程序 ROM 化。
(③和④在后面的章节中介绍)

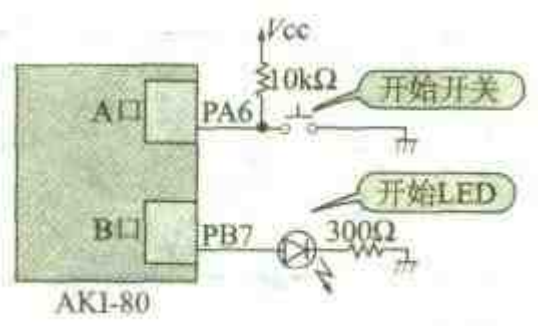


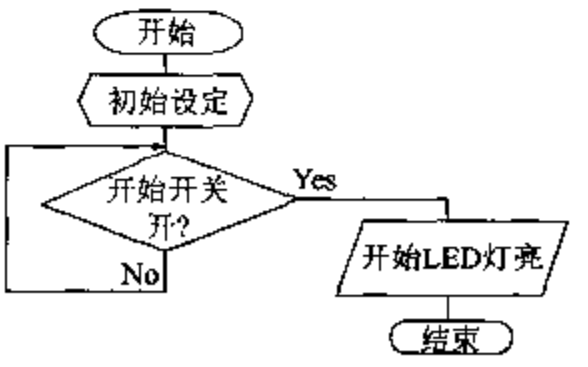
请列举具体的例子介绍吧。



好吧。前面制作的“太郎”的电路中，PIO、A 口的 PA6 与开始开关连接，B 口的 PB7 与开始 LED 连接。

所以，就以“按下开始开关，开始 LED 灯亮”的程序为例，来看看执行程序的编写。





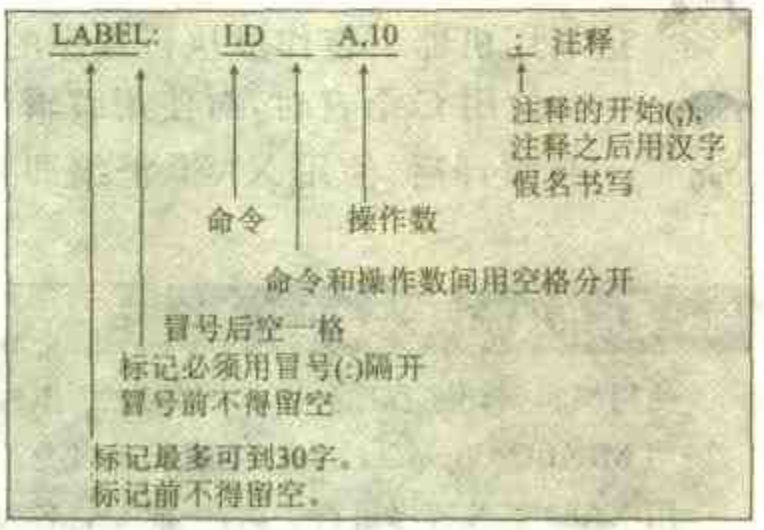


机器语言的源程序如下：

```
        ORG     0000H ——开始地址
        LD      A,4FH
        OUT     (1DH),A     A口输入设定
        LD      A,0FH
        OUT     (1FH),A     B口输出设定
        LD      A,00H
        OUT     (1EH),A     B口清除
ST_SW:  IN      A,(1CH)
        AND     40H         PA6输入
        JP      NZ,ST_SW    -PA6判断
        LD      A,80H
        OUT     (1EH),A     PB7输出
        END
```



那么来看看具体的步骤。



① 用编辑器记述软件程序。编辑器除 MIFES 等之外，也可使用文字处理机软件。保存文件时，指定文本形式取扩展名为. ASM。而且，XA80 的程序书写格式定为以下形式：

详细情况，请参照 XA80 用户说明书。

② 使用 XA80 对以上作成的文件进行汇编。如无书写格式错误，即可生成扩展名为. HEX 的执行程序。

```
A>XA80
Z-80/64180 Absolute Cross Assembler (MS-DOS) Verision 2.01
Copyright(C)System Load CO.,LTD. 1989—1991 All rights
reserved.
    Source  File[.ASM]:LED1
    Object  File[.HEX]:
    Symbol  File[.SYM]:
    Listing File[.LST]:
    Pass 1...
    Pass 2...
                XA80 起动屏幕
    No Errors
    A>
```

作成的 HEX 文件即是可写入 ROM 的执行程序。

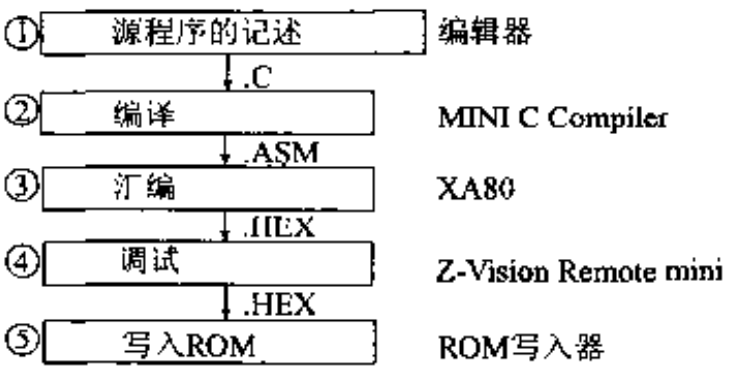
这里所介绍的是直到作成 HEX 文件为止。之后所必需的调试、ROM 化

顺序等在后面的章节介绍。



到那时，这里所作的执行程序的工作即可确认，是吧。

C 语言





C 语言是作为能像机器语言一样进行极细致处理的高级语言而广泛普及的程序语言。使用 MINI C Compiler，即使不具备机器语言的知识，也能用 C 语言开发微机板用的程序。用 C 语言作成执行程序时的工作流程如右图。



这与用机器语言作成执行程序的工作顺序相似。



使用 C 语言时，对使用编辑器记述的 C 语言源程序用 MINI C Compiler 编译后，使用 XA80 汇编即可。

用 C 语言作成执行程序的工作顺序

① 使用编辑器记述程序。以扩展名为.C 作为文本文件保存；
② 用 MINI C Compiler 编译，生成扩展名为. ASM 的文件；
③ 用 XA80 汇编程序进行汇编，生成扩展名为. HEX 的执行文件；
④ 用 Z-VISION mini 调试器进行调试；
⑤ 用 ROM 写入器 ROM 化。
（④、⑤在后面的章节中介绍。）

与用机器语言同样，使用“按下开始开关，开始 LED 灯亮”的程序例子，试编成执行程序。



C 语言的源程序如右图所示。

```
#include "k15c.h"          开始地址用头文件
main ()                    STARTUP.H指定
{
    char ad;
    out(0x1d,0x4f);        ——— A口输入
    out(0x1f,0x0f);        ——— B口输出

    out(0x1e,0x00);        ——— B口清除
    ad=1;
    while(ad!=0){
        ad=in(0x1c);
        ad=ad & 0x40;      ——— PA6输入
    }
    out(0x1e,0x80);        ——— PB7输出
}
```



下面介绍具体的步骤：

① 用编辑器记述上边的源程序。以扩展名为.C保存；

② 使用MINI C Compiler对上面作成的文件进行编译。如无错误，即可作成扩展名为.ASM的文件。

```
A>XA80 testc.c
System Load Compiler [mini-'C' V1.0 for Z80 KC80 1995.3
By System Load CO.,LTD. & K.Kino Copyright (C) All rights reserved.
There were 0 erros in compilation.
A>
```

MINIC编译器起动屏幕

③ 使用XA80对上述作成的文件进行汇编。书写格式等无错误时，即可作成扩展名为.HEX的执行程序。

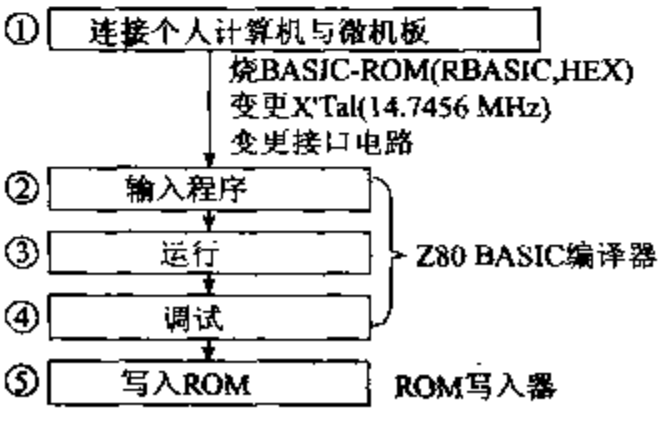
```
A>XA80 testc.asm
Z-80 64180 Absolute Cross Assembler (MS-DOS) Version 2.01
Copyright(C)System Load CO.,LTD. 1989—1991 All rights
Object File[.HEX]:
Symbol File[.SYM]:
Listing File[.LST]:
Pass 1...
Pass 2...
No Errors
A>
```

XA80起动屏幕

BASIC



BASIC是作为初学者使用的对话型高级语言而更一般广泛普及的程序语言。使用Z80BASIC编译器，即使不具备机器语言的知识，也能用BASIC开发微



机板用的程序。

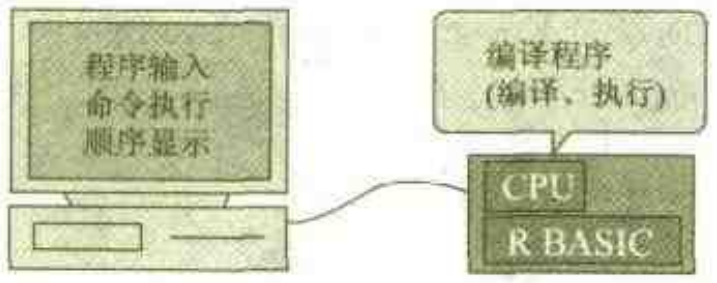


为了使用 BASIC，要在微机板上安装 BASIC-ROM，用 RS-232C 连接个人计算机与微机板。



是的。要在与微机板通信的同时作成 BASIC 程序。并将 Z80BASIC 编译程序中所包含的 RBASIC. HEX 写入 BASIC-ROM。

写入方法请参照下节。处于通信状态的个人计算机与微机板分担的工作任务如下。





至今记述程序使用的是外部编译器，而 BASIC 中就包含有编译器。

用 BASIC 作成执行程序的工作顺序

① 连接个人计算机与微机板；
② 使用 BASIC 编译器记述程序；
③ 执行程序确认动作；
④ 如有错误进行调试排除；
⑤ 用 ROM 写入器 ROM 化。



如果使用 BASIC 编译器，就不必使用 Z-VISION mini 调试器。



使用至今相同的“按下开始开关、开始 LED 灯亮”的程序例子，试作执行程序。

BASIC 的源程序如下：

```
100 out $ 1d $ 4f          ——— A口输入
110 out $ 1f $ 0f          ——— B口输出
120 out $ 1e $ 00          ——— B口清除
130 a=inp ($1c)
140 a=a and $ 40           ——— PA6输入
150 if a<>0 goto 130       ——— PA6判断
160 out$1e $ 80            ——— PB7输出
170 end
```

① 连接个人计算机与微机板；

② 输入上述源程序：

```
                    BTERM
                                        {System Load}
■■■■■■■■■■ BASIC Terminal program ■■■■■■■■■■
>
>list
   100 out $ 1d $ 4f
   110 out $ 1f $ 0f
   120 out $ 1e $ 00
   130 a=inp ($1c)
   140 a=a and $ 40
   150 if a<>0 goto 130
   160 out$1e $ 80
   170 end
ok
>
■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■■
BTERM for PC-9801
Copyright(C)Systems Load CO.,LTD.1992.All
right reserved.
Initialized:Baud rate is 9600
      Quit  Load  Lload    Run  Cont  List Wrt Blank
```

Z80BASIC
编译程序起动屏幕

③ 执行程序：

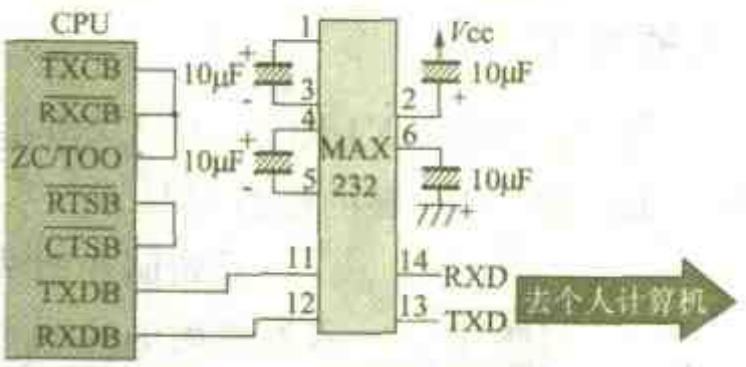
命令
程序的执行 f-6 键
执行中程序的中断 SHIFT + f-6 键

④ 根据需要进行调试：

命令
程序的ASC形式保存
SHIFT + f-3 键

⑤ 连接 ROM 写入器，将程序写入 ROM。

命令
将存储器中的程序与BASIC系统一起写入ROM　SHIFT + f-9 键



连接个人计算机的接口例

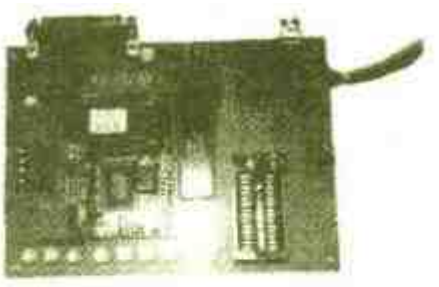
7 ROM写入器的使用方法



ROM 写入器

ROM 写入器是将用个人计算机编成的程序写入 ROM 的装置。

现在市面上出售的 ROM 写入器种类非常多，功能与价格也各种各样。这里，使用秋月电子通商有限公司销售的 ROM 写入器套件来介绍其使用方法。


ROM写入器

套件要自己组装吗?

是的。但是组装很简单不必担心。

AKI-ROM 写入器的制作

此 ROM 写入器套件(以下称 AKI-ROM 写入器)是能以合适的价格购得，且对于我们的用途功能也足够的推荐制品。



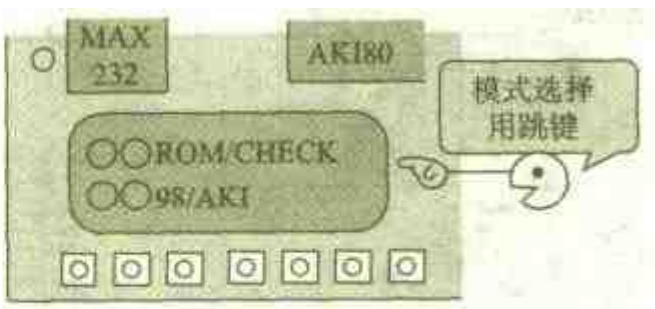
开始制作时先阅读 AKI-ROM 写入器所附的说明书，然后细心制作。

AKI-ROM 写入器中带有 AKI-80 微机板。

AKI-ROM 写入器由 AKI-80 控制。所以使用 AKI-ROM 写入器时必须要有一个 AKI-80 微机板。AKI-ROM 写入器套件中，有包含 AKI80 的，也有要另买的，所以要注意。

AKI-ROM 写入器中备有校核模式。制作结束时要立即校核。校核完后，将模式选择跳键置为“开”。

模　式	ROM/CHECK	98/AKI
98 控制 ROM 写入器	开	开
AKI 控制 ROM 写入器	开	短接
校核/文件传送	短接	短接



<AKI-ROM写入器>

这里采用 PC98 系列 MS-DOS 并利用 AKI-ROM 写入器。

个人计算机用软件的准备

为了让 AKI-ROM 写入器工作，个人计算机和 ROM 写入器两者都要有通信用的软件。这些软件写在套件所含的 AKI-80ROM 中。



个人计算机用的通信软件，需由此 ROM 中拷贝到软盘上，即可使用。

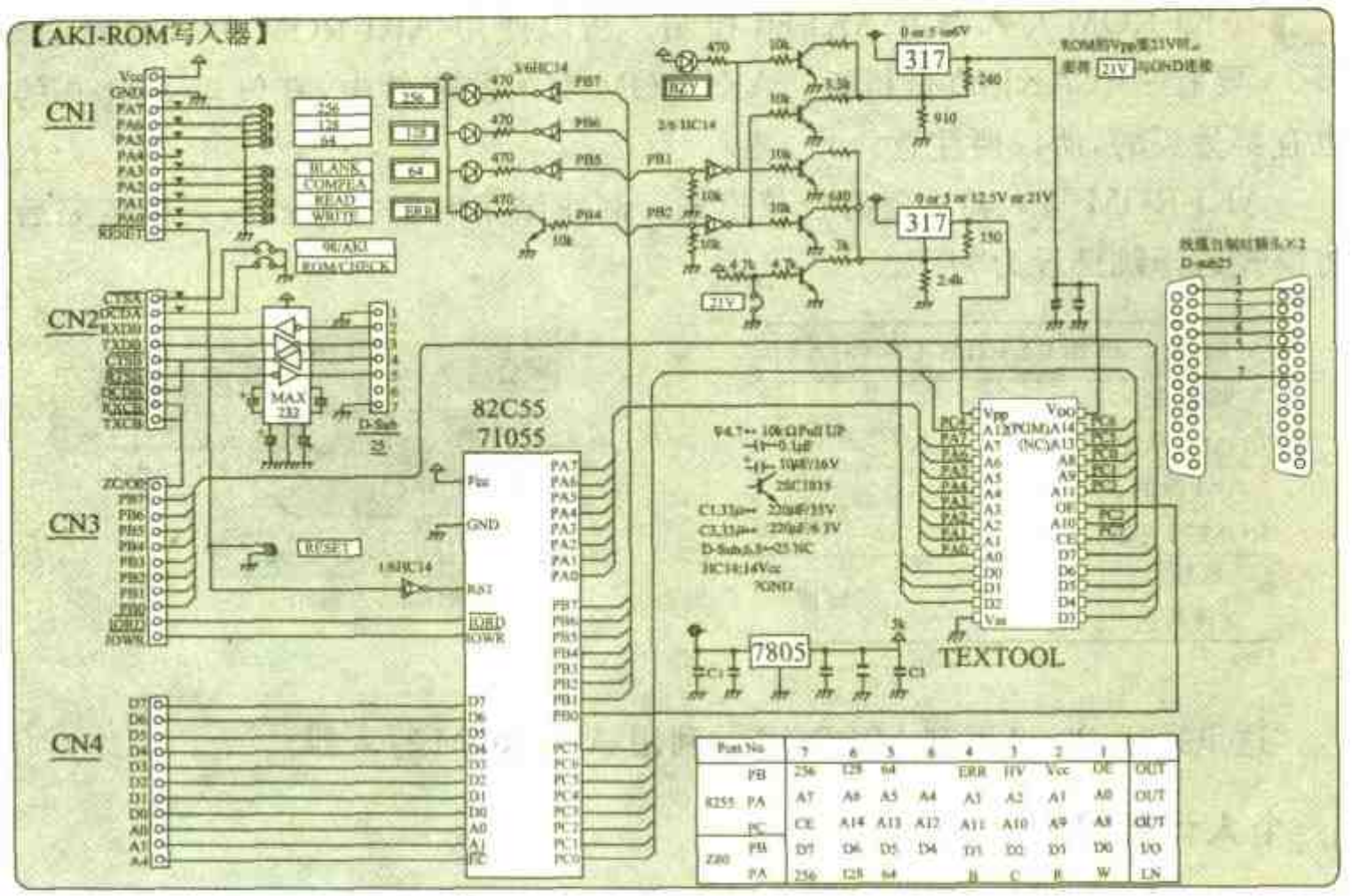
是的。个人计算机与 AKI-80ROM 写入器通过 RS-232C 光缆连接进行工作。工作顺序详细说明于 AKI-ROM 写入器的操作说明书中，请遵照执行。个人计算机用的通信软件的名字为 AKI ROM. EXE。

ROM 写入器的使用方法

现在使用 AKI-ROM 写入器给 ROM 中写入程序。ROM 使用日立制的 HN27

C256AG-12。此 ROM 写入时需要 12.5V。这个电压要 AKIROM 写入器供给，所以要将 15～18V 的电源接给 AKI-ROM 写入器。







先来确认用 AKI-ROM 写入器将程序写入 ROM 的工作步骤。

将程序写入 ROM 的步骤

① 用 RS-232C 光缆连接个人计算机与 ROM 写入器；
② 打开个人计算机和 ROM 写入器的电源；
③ 在个人计算机上启动 AKIROM. EXE 程序；
④ 指定 ROM 的类型；
⑤ 将想要写入的程序经软盘等方式读入个人计算机的内存；
⑥ 将程序传送给 ROM。



AKI-ROM写入器

那么，实际来操作一下看看。将前一节中用机器语言作成的“按下太郎的开始开关，开始 LED 灯亮”程序写入 ROM




```
ORG       0000H
LD        A,4FH
OUT       (1DH),A
LD        A,0FH
OUT       (1FH),A
LD        A,00H
OUT       (1EH),A
ST_SW:IN  A,(1CH)
AND       40H
JP        NZ,ST_SW
LD        A,80H
OUT       (1EH),A
END
```

TEST.ASM



仿照下面给出的“ROM 写入实例”进行作业。

将写入了程序的 ROM 装到“太郎”的 AKI-80 上，即可让程序运行。

ROM写入实例

① 确认个人计算机与ROM写入器的连接,打开电源,在个人计算机上启动通信软件AKIROM:

AKI-80 ROM WRITER ver 1.2		秋月电子通商
ROM TYPE	OPERATE COMMAND SELECT	DATE DIR=A:¥
2764 27128 27256 2864	Load HEX File Write & Transmit Write from AKI-RAM Transmit to AKI-RAM Read & Receive Read to AKI-RAM Compare HEX File Compare AKI-RAM Blank Check Rom Type Start Stop Address Save HEX File	HEX FILE=*.HEX AKIROM.EXE 起动屏幕
STRT ADS STOP ADS		
0000 H 7FFF H		

[ESC] to EXIT

② 将未使用的ROM装到ROM写入器的TEXTOOL(带杠杆的ROM插座)上:



TEXTOOL

③ 在个人计算机上选择型号为27256 的ROM:

ROM TYPE
2764
27128
27256
2864

用箭头键选择,用回车键决定。

④ 选择OPERATE COMMAND SELECT中的Load HEX File,将TEST.HEX读入个人计算机的内存:

文件名　目录

AKI-80 ROM WRITER ver 1.2		秋月电子通商
ROM TYPE	OPERATE COMMANDSELECT	DATE DIR=A:¥
2764 27128 27256 2864	Load HEX File Write & Transmit Write from AKI-RAM Transmit to AKI-RAM Read & Receive Read to AKI-RAM Compare HEX File Compare AKI-RAM Blank Check Rom Type Start Stop Address Save HEX File	HEX FILE=*.HEX TEST.HEX LED1.HEX HEX 文件列表
STRT ADS STOP ADS		
0000 H 7FFF H		

⑤ 选择OPERATE COMMAND SELECT中的Write&Transmit,将个人计算机内存中的程序TEST.HEX传送给ROM。

ROM 的拷贝



能对写有程序的 ROM 进行拷贝吗？



可以。ROM 的拷贝按以下的步骤进行。

ROM 拷贝的步骤

① 按照与前相同的步骤，启动 AKIROM. EXE；

② 将拷贝源 ROM 装在 ROM 写入器的带杠杆的插座上；

③ 选择 OPERATE COMMAND SELECT 中的 Read & Receive，将 ROM 中的程序读入个人计算机的内存中；

④ 将要烧的 ROM 换装在 ROM 写入器的带杠杆的插座上；

⑤ 选择 OPERATE COMMAND SELECT 中的 Write & Transmit，将个人计算机内存中的程序传送给 ROM。


拷贝重要的 ROM 时，只要预先做好准备即可防止发生故障。

其他指令


AKIROM. EXE 中，还准备有检查程序是否正确写入 ROM 等指令。

Compare HEX Files

将读入个人计算机内存中的 HEX 文件与 ROM 的数据进行比较。

Compare AKI-RAM

将 ROM 写入器上的 RAM 数据与 ROM 数据进行比较。

Blank Check

检查 ROM 是否空白(可写入状态)。

ROM 擦除器

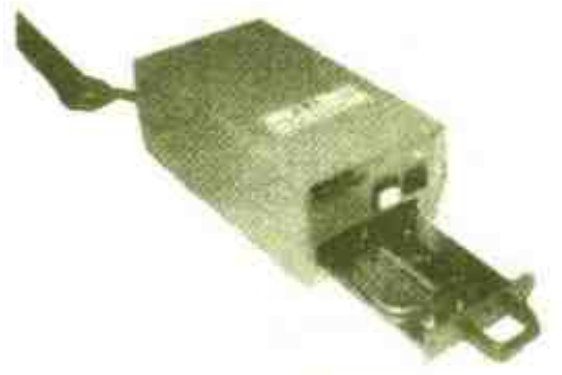

写了程序的 ROM，要贴上封条，以免光(紫外线)进入窗口。

为什么 ROM-IC 上带有窗口呢？这是因为将窗口对着紫外线即可消去 ROM 中的数据。


就是说，如果将 ROM 对着紫外线消去数据，就能写入不同的数据再重新使用。


是的。将 ROM 对着紫外线以消去其数据的装置，即为 ROM 擦除器。市面上有各种型式的 ROM 擦除器销售。买一个带定时器的便宜的擦除器，使用非常便利。


自然的太阳光中也含有紫外线。所以，为防止写好了的 ROM 数据消失，而要用封条盖上窗口。


ROM擦除器

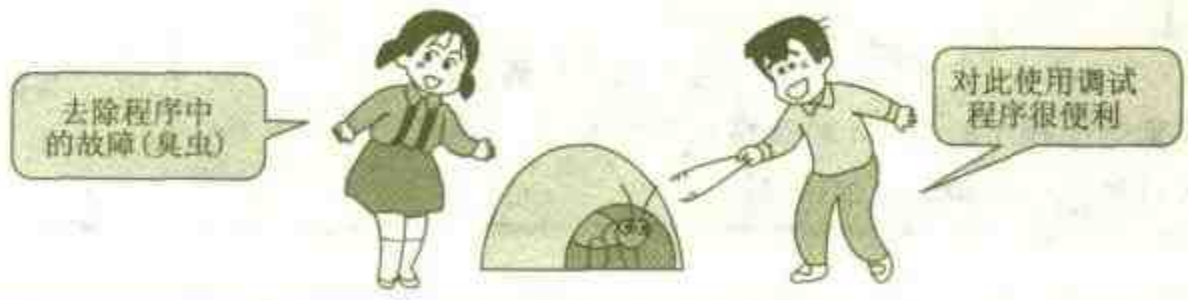
练习题

●对于写好了的 ROM，能否重新写入新的数据？

解答

不能。应该用 ROM 擦除器擦去后再写入新的数据。

8 遥控调试程序的使用方法



程序的调试



前面介绍了编写相扑机器人用程序的3种程序语言(机器语言、C语言、BASIC语言)。当然,使用哪种语言是因人而异的。下面介绍使用机器语言编制程序的顺序。

在第3章的"微机控制的顺序"节中,已介绍过两种程序ROM化的顺序。



是的。"顺序1"是修正程序时写入ROM并进行校核的方法。"顺序2"则是将修正过的程序传给RAM并进行动作校核后再写入ROM的方法。

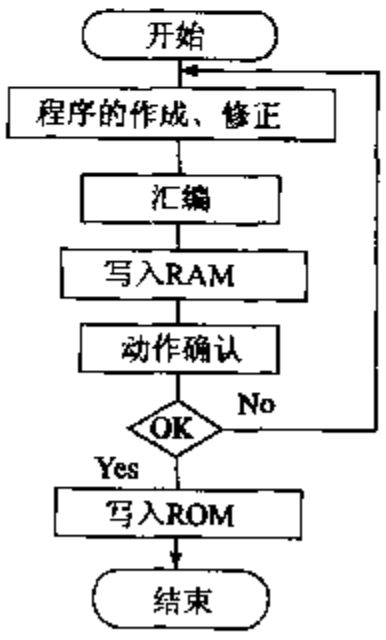


比起多次使用ROM写入器及擦除器的"顺序1",最终确认动作后只烧1次ROM的"顺序2"有很好的效率。



所以下面介绍用"顺序2"的方法进行程序调试的方法。先来确认"顺序2"的工作流程。

如能理解下面的流程图,学习起来就容易很多。



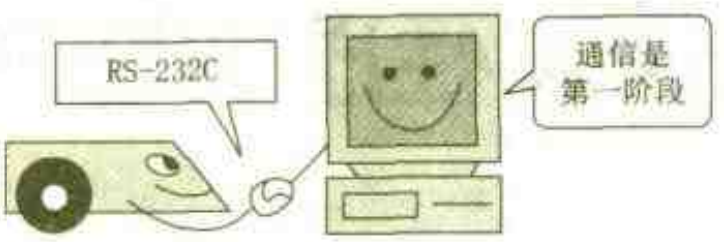
程序ROM化的顺序2

遥控调试程序



请具体教我们实际的方法。

好的。最初的目的是要实现相扑机器人携带的 AKI-80 微机板与个人计算机间的通信。



通信的准备

① 用 RS-232C(线缆)连接相扑机器人与个人计算机；
② 将写有通信用程序的 ROM 装到相扑机器人(AKI-80)上；
③ 在个人计算机上启动遥控调试程序。

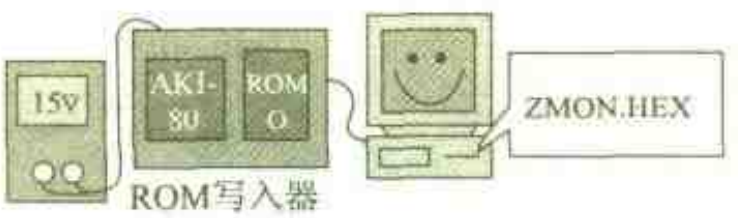
本书使用的遥控调试程序为 Z-Vision Remote mini(System Load 公司制)。此调试程序是 Z-Vision Remote 产品的功能限定版。与原版相比，虽然有可使用的指令数目少等限制，但对于初学者的使用功能已足够。它的价格只有数千日元，已经是很好的产品了。

怎样准备②中要用的通信 ROM?

Z-Vision Remote mini 的软盘中含有以下文件(文件名因版本而异，请参照使用说明书)。

Z-Vision Remote mini Ver. 3. 0 的文件

ZVRMINI. EXE
　　个人计算机使用的 Z-Vision Remote mini 程序。
ZMON. HEX
　　TMP-Z84C015 用的写入 ROM 的通信程序。
SPMON. HEX
　　SUPER AKI-80 用的通信用程序。



这里，将 ZMON. HEX 写入 ROM 来使用。

要将程序写入 ROM，使用前面介绍过的 ROM 写入器即可。

是的。请参照第 4 章“ROM 写入器的使用方法”制作通信用 ROM。而且，个人计算机启动的遥控调试程序为 ZVRMINI. EXE。为使用 RS-232C 接口，要在个人计算机中设定名为“RSDRV. SYS”的驱动文件(含于 MS-

DOS的系统盘中)。不要忘记将此驱动文件置于根目录下,如下所示记在CONFIG.SYS中。

CONFIG.SYS上增加1行

```
DEVICE=RSDRV.SYS
```

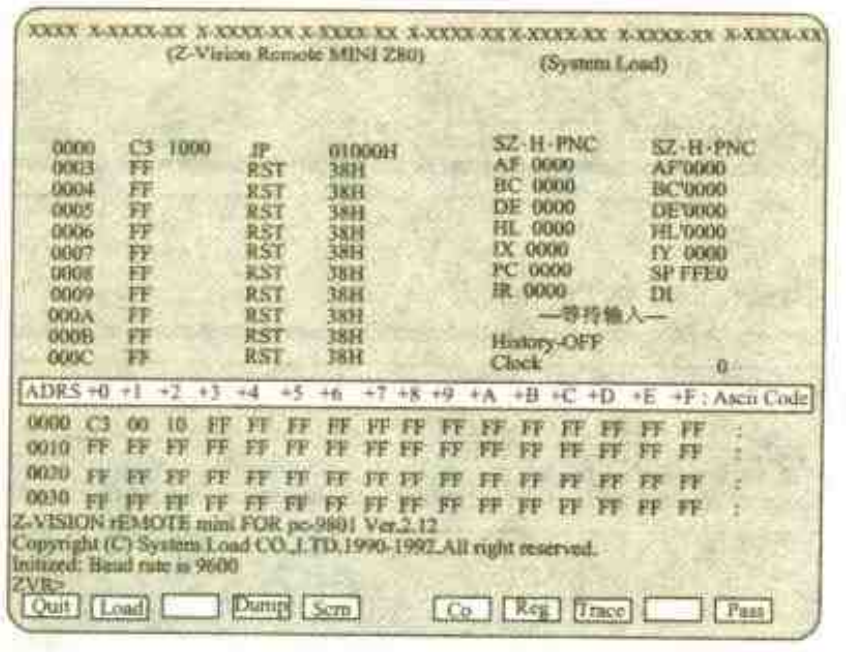
(注)ZVRMINI.EXE只能在PC-9801的MS-DOS上运行。要在其他的机种上使用时,要准备Z-Vision Remote的原版。



至此,相扑机器人(AKI-80)与个人计算机的通信的准备工作完毕。



那就立刻试试看。如上所述,连接相扑机器人与个人计算机,打开相扑机器人的电源,从个人计算机MS-DOS的提示符A(A>)开始,打入ZVRMINI启动Z-Vision Remote mini。这样一做,即会显示以下的画面。





如果在画面的下方显示“ZVR>”呈等待指令输人状态,即可准确进行通信。如果无画面显示,或出现“不能通信”等错误信息时,应检查电缆的连接、与AKI-80通信程序的时钟一致,以及MS-DOS上RS-232C的设定等。

Z-Vision Remote mini的画面



Z-Vision Remote mini画面上显示有很多信息哩。



这些信息都与AKI-80的存储器及CPU有关。

Z-Vision Remote的原版准备有大约50个指令,但在mini版中能够使用的只有其中的11个。可以说许多功能受到了限制,但对于调试相扑机器人的程

序则是功能很充分的，因此无需担心。

下面对其指令做一简单说明。

Z-Vision Remote mini 的指令一览表

指　令	功　能
A	进行汇编
BP	断点设定
BC	断点删除
D	存储器的显示与变更
G	程序运行
L	HEX 文件及符号文件的装入
P	路径跟踪
Q	结束 Z Vision Remote mini
R	寄存器值的设定
T	跟踪
U	反汇编列表显示

使用特别频繁的，大概是以下 5 个指令：

D 存储器的显示与变更

将从指定地址开始的存储器的内容显示在打印窗口。

G 程序运行指令

从指定的地址开始，运行 AKI-80 程序。

L 程序・文件的装入

将 HEX 形式的文件从软盘读入内存。

Q 结束

结束 Z-Vision Remote mini。

U 显示反汇编

将反汇编程序(助记符)显示在显示窗口中。

几条指令也可以由功能键来分担。

光标向显示窗口、打印窗口等的移动，使用功能键 4“Dump”和 5“Scrn”来进行。



试着使用一下显示存储器内容的 D 指令。例如，要显示从地址 0050 开始的存储器的内容，那就要输入成

```
ZVR>D0050
```

Z-Vision Remote mini 画面的说明

(画面可分为 7 个区,这里只使用其中一部分。)

① 对话窗口

指令输入画面。跟在 ZVR≫后打入指令。也有显示来自 Z-Vision Remote mini 的信息的。

② 显示窗口

用十六进制数与助记符两者显示 AKI-80 存储器(ROM、RAM)中的内容。

③ 寄存器窗口

显示 AKI－80CPU 的寄存器、标识位的状态。

④ 信息打印窗口

用十六进制数显示 AKI-80 存储器(ROM、RAM)的内容。

这里可对存储器的内容进行编辑。当然可编辑的仅限于 RAM 的内容。

⑤ 路径断点窗口

显示断点(AKI-80 程序运行途中的停止点)的设定状态。

⑥ 信息窗口

显示以下三种信息:

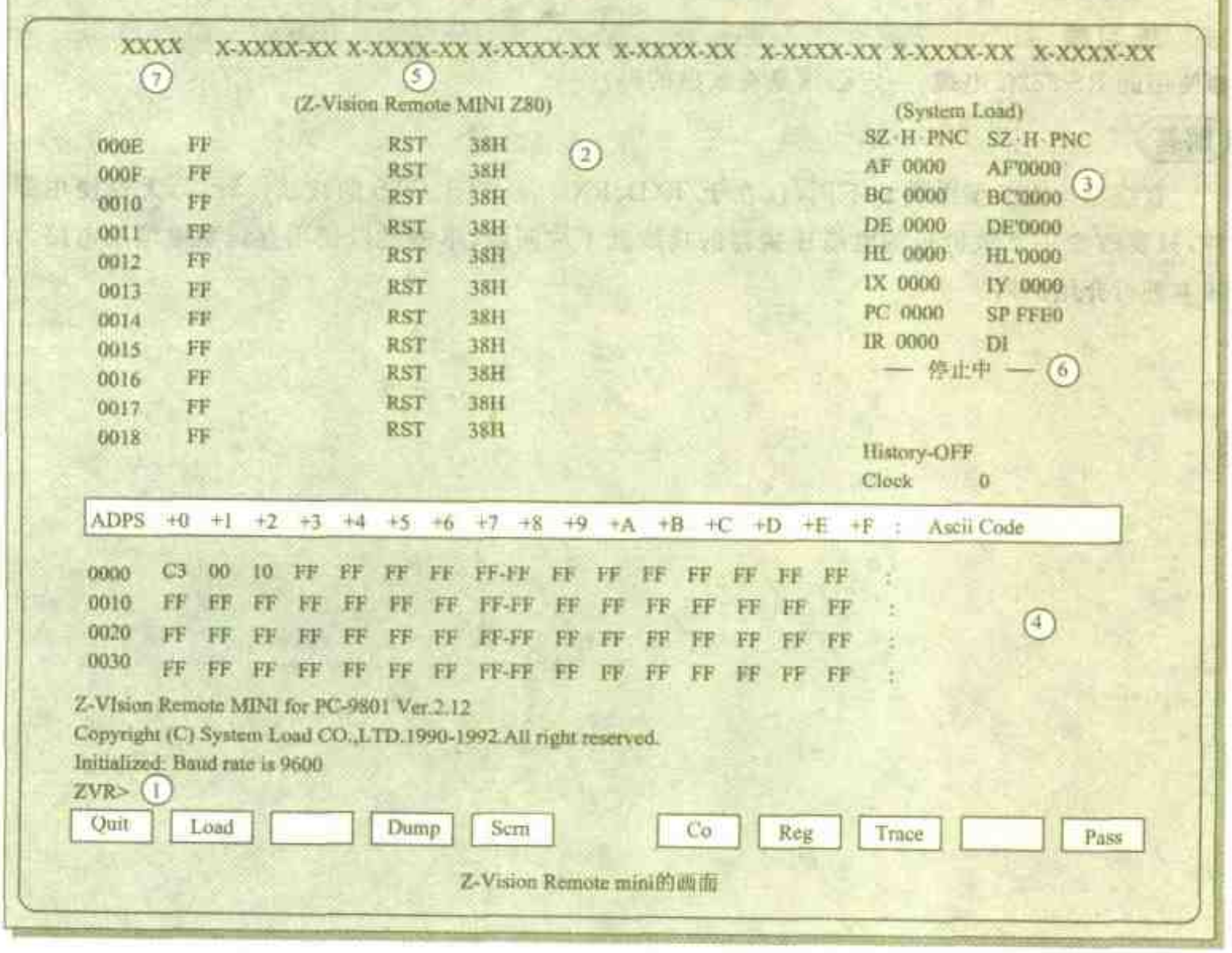
通信中——正在发送接收数据,

停止中——等待指令输入,

实行中——AKI-80 程序正在运行。

⑦ 断点窗口

显示即时断点。



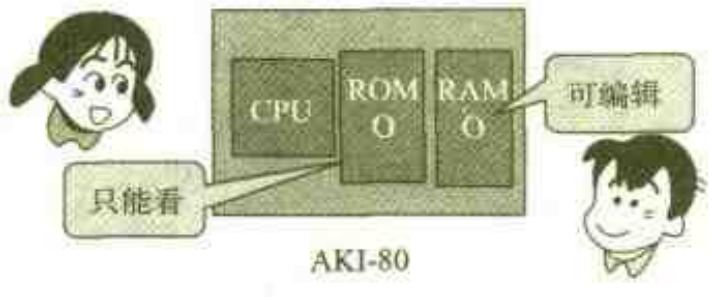
Z-Vision Remote mini的画面



打印窗口处即显示从地址 0050 开始的存储器的内容。用功能键 4 将光标切换到打印窗口，上下移动也可以改变显示地址。



现在，两个人要显示的是写入 AKI-80 所带 ROM 中的通信程序的内容。此程序写在 ROM 中，所以尽管看得见，但要修改及删除等编辑都不行。Z-Vision Remote mini 能够编辑的仅限于写在 AKI-80RAM 中的程序。





这样一来，使用遥控调试程序对相扑机器人的程序进行调试的准备就做好了。

总之，可以一边看着个人计算机的屏幕，一边编辑 AKI-80 的存储器的内容（相扑机器人的程序）。

练习题

●使用的 RS-232C 电缆，一定必须是直线型的吗？

解答

直线型与交叉型电缆的不同，仅在于 TXD、RXD 及 RTS、CTS 的接法。所以，无论使用哪种，只要改变一下微机板的电缆连接器的接线就不成问题（本书是以使用直线型电缆的电路为基本进行介绍的）。

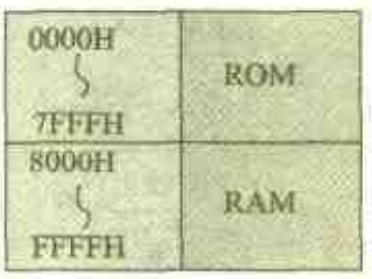
9 程序调试实践



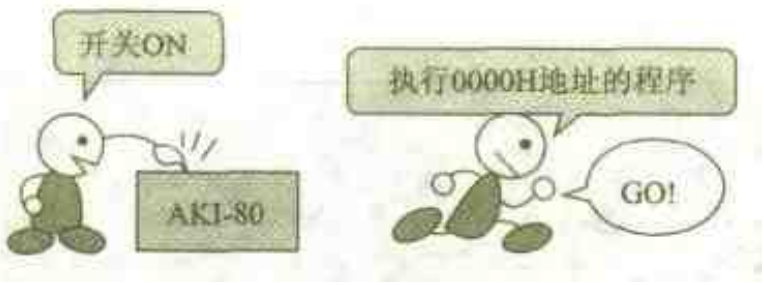
关于存储器的地址



AKI-80 微机板上可安装 ROM 和 RAM 两者。两个存储器 IC 的地址如下(参照第 4 章第 3 节“微机板的使用方法”)。







这里有一点必须注意,就是在接通微机板的电源时,或其后按了复位开关时,CPU 会从存储器的最前面的地址(0000H)开始执行程序。



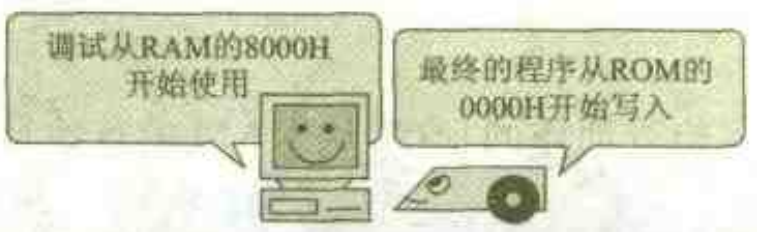
就是说,最终作成的相扑机器人的程序从 ROM 的 0000H 地址开始写入。



是的。但是用遥控调试程序调试好的仅仅是写入 RAM 的程序。所以,相扑机器人的程序的最前面的地址是 8000H。



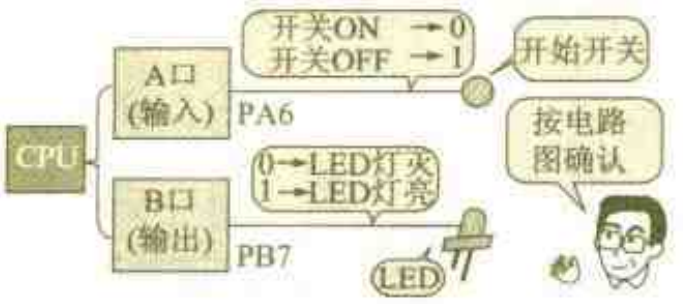
用遥控调试程序对程序进行检查时,是从 8000H(RAM 的首地址)开始写入程序,而烧 ROM 时变为 0000H(ROM 的首地址)即可。



LED 灯亮程序



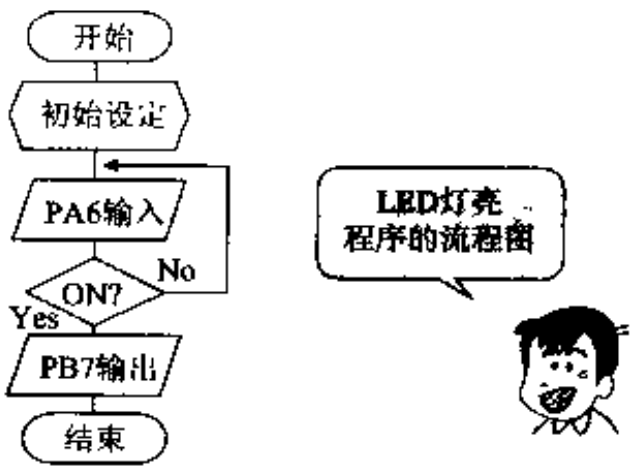
实际来操作一下程序对相扑机器人控制。“太郎”的开始开关接在 PA6 上，LED 接在 PB7 上。



利用此电路，试编写“按下开始开关，LED 灯亮”的程序。



考虑程序的流程图为





以流程图为基础编写程序。

```
        ORG     8000H       ;地址设定
        LD      A,4FH       ;A 口输入
        OUT     (1DHA),
        LD      A,0FH
        OUT     (1FH),A     ;B 口输出
        LD      A,00H
        OUT     (1EH),A     ;B 口清除
INKEY:  IN      A,(1CH)     ;A 口输入
        AND     40H         ;PA6 屏蔽
        JP      NZ,INKEY
        LD      A,80H       ;PB7 输出
        OUT     (1EH),A
        END
```

LED 灯亮程序



用遥控调试程序检查动作的程序，从 RAM 的首地址(8000H)开始书写。



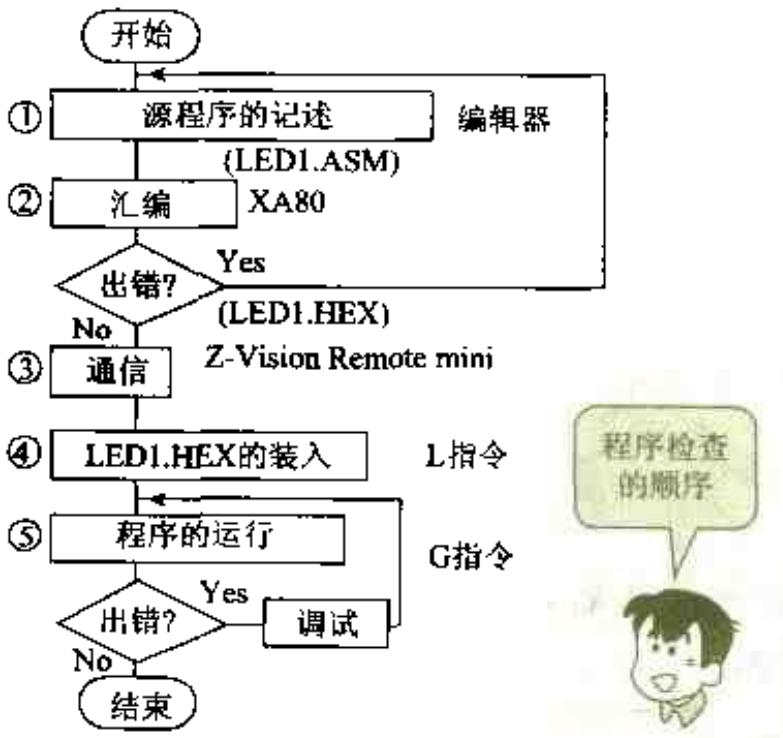
现在来说明直至让程序运行的顺序。

程序检查的顺序

① 使用编辑器记述程序，以文本形式的文件保存；
② 将上面作成的文件用 XA80 汇编，作成 HEX 形式的文件；
③ 使个人计算机和相扑机器人成为可通信状态；
④ 用遥控调试程序读入②作成的文件。读给遥控调试程序的同时也传送给相扑机器人的 RAM；
⑤ 运行程序。



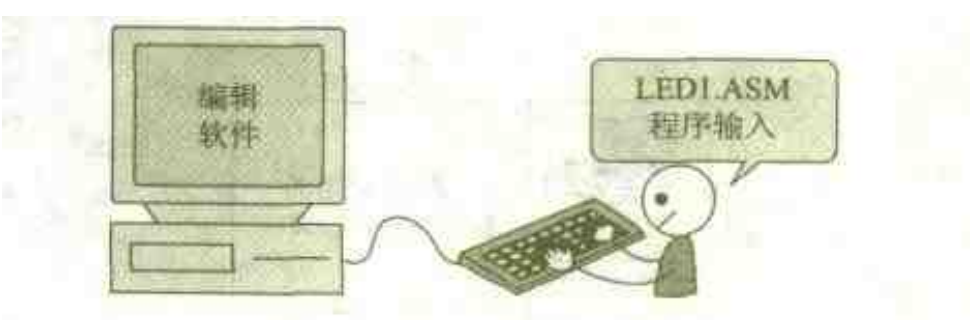
如前面所讲的，如果使用遥控调试程序，无需 ROM 的介入即可检查程序的动作，因而很便利。





立刻按此顺序进行实际工作试试。

① 使用编辑软件输入程序，用 LED1. ASM 名字保存；



② 用 XA80 对 LED1. ASM 进行汇编，生成 LED1. HEX；

```
A>XA80
Source      File[. ASM]:LED1
Object      File[. HEX]:
Symbol      File[. SYM]:
Listing     File[. LST]:
Pass 1 …
Pass 2…
No Errors
```

③ 连接个人计算机与相扑机器人，启动 Z-Vision Remote mini；

④ 用 Z-Vision Remote mini 读入 LED1. HEX；




```
ZVR>L
File name[. HEX]   =LED1
Load HEX file 'LED1. HEX' 8000-8015
File name [. SYM]  =
```

⑤ 用 Z-Vision Remote mini 让程序运行。此时要指定程序运行的地址从 8000H 开始。

只要一按相扑机器人的开始开关，LED 灯即亮。

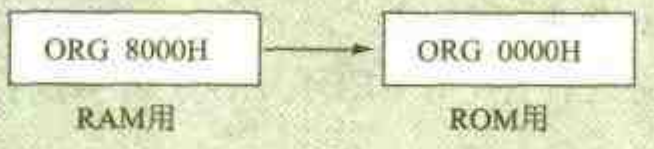




做得很好。程序完成后，将程序的开头地址改为 0000H 写入 ROM 即可。

程序写入 ROM 的步骤

① 使用编辑程序修改程序(首地址)；



② 用 XA80 汇编；



③ 使用 ROM 写入器写入 ROM。



LED灯亮程序顺利运行了。但是，如果程序中有故障时该怎样调试排除呢？



程序中有故障时，有两种修正方法可以考虑。如果程序修改的量很大时，可使用编辑程序改写程序。即从最初开始再重复一遍程序检查的步骤。另外，如果程序稍作修改即可的话，就在操作 Z-Vision Remote mini 的同时进行调试。这里实验的程序中没有故障，但可以通过更改此程序来练习调试的步骤。

LED灯灭程序



刚才的程序动作是“按下开始开关，LED灯亮”。现在将此改为“按下开始开关，LED灯灭”程序试试。

```
        ORG     8000H       ;地址设定
        LD      A,4FH       ;A口输入
        OUT     (1DH),A
变更    LD      A,0FH       ;B口输出
        OUT     (1FH),A
        LD      A,80H       ;LED灯亮
        OUT     (1EH),A
INKEY:  IN      A,(1CH)     ;A口输入
        AND     40H
        JP      NZ,INKEY    ;PA6屏蔽
        LD      A,00H       ;LED灯灭
        OUT     (1EH),A
        END
```

LED灯灭程序



程序的变更有两处。

变更①：最初置LED灯亮。

变更②：按开始开关时，LED灯灭。



再来说明一下修改程序的步骤。

程序修改(调试排除故障)的步骤

① 用 Z-Vision Remote mini 读入刚才的 LED1. HEX 文件；

```
ZVR>L
File name [.HEX]   =LED1
Load HEX file'LED1.HEX'8000-8015
File name [.SYM]   =
```

② 在 Z-Vision Remote mini 的打印窗口修改该改的地方；

```
                 80→00                    00→80
ADRS +0 +1 +2 +3 +4 +5 +6 +7 +8 +9 +A +B +C +D +E +F
8000 3E 4F D3 1D 3E 0F D3 1F-3E 00 D3 1E DB 1C E6 40
8010 20 FA 3E 80 D3 1E FF FF-FF FF FF FF FF FF FF FF
```

程序修改处(打印窗口)

③ 运行程序。



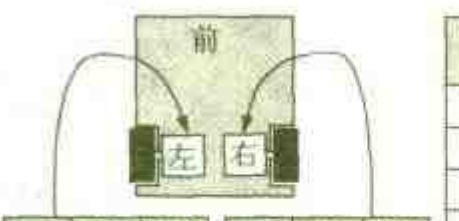


这次最初是 LED 灯亮着，一按下开始开关灯就灭了。其他程序的调试也按与此相同的要领进行即可。

相扑机器人的前进、后退程序



下面来试着控制“太郎”的电机。“太郎”电机的控制数据如右图所示。



	PB1	PB0
前转	0	1
后转	1	0

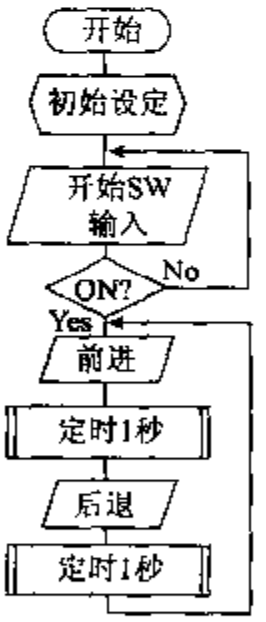
	PB3	PB2
前转	1	0
后转	0	1

太郎	B口数据
前进	09H
后退	06H
右转	05H
左转	0AH
停止	00H

(LED灯灭时)



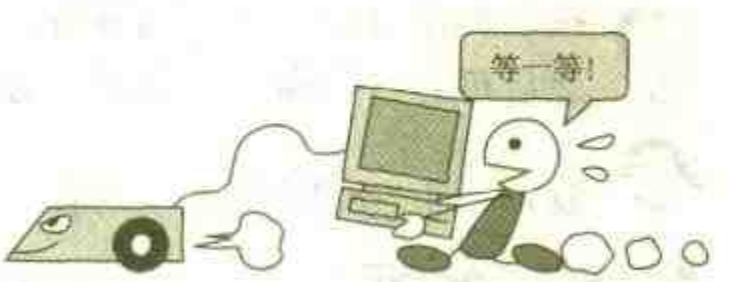
这里来编写前进和后退交替重复的程序。考虑的流程图与程序如下：





```
        ORG 8000H       ;地址设定
        LD A,4FH        ;A 口输入
        OUT(1DH),A
        LD A,0FH        ;B 口输出
        OUT(1FH),A
        LD A,00H        ;B 口清除
        OUT(1EH),A
INKEY:  IN A,(1CH)      ;A 口输入
        AND 40H         ;PA6 屏蔽
        JP NZ,INKEY
START:  LD A,09H        ;前进
        OUT (1EH),A
        LD B,100        ;100 * 10ms 设定
        CALL WAIT       ;调用定时器
        LD A,06H        ;后退
        OUT (1EH),A
        LD B,100        ;100 * 10ms 设定
        CALL WAIT       ;调用定时器
        JR START
 WAIT:  CALL WAIT2      ;定时子程序
        DEC B
        JR NZ,WAIT
        RET
WAIT2:  LD HL,1900H
WAIT3:  DEC L
        JR NZ,WAIT3
        DEC H
        JR NZ,WAIT3
        RET
        END
```

程序中将定时器作为子程序使用，给 B 寄存器输入必要的时间(10ms 为单位)后调用此子程序。





刚才跟老师学了检查程序的步骤。但是按此程序，相扑机器人是移动的，所以 RS-232C 电缆成为障碍。



控制对象在场所内移动时，就会产生此问题。

虽然并不理想，但实际上在 Z-Vision Remote mini 中，即使取掉电缆，程序也会以很高的概率驻留在相扑机器人的 RAM 中。所以，用 Z-Vision Remote mini 运行程序后，可取掉电缆进行实验。

练习题

●试作开始开关按下 5 秒后 LED 灯亮的程序。

提示：将 LED 灯亮程序与定时子程序组合来完成。

10 “太郎”的程序



“太郎”的程序概要

已经学过“太郎”的硬件完成步骤，软件的调试方法等。最后剩下了编写程序的步骤。

按照程序可让“太郎”做各种动作。这里以一个典型程序为例进行说明。之后可各自钻研改良得到更好的程序。

复习一下“太郎”的基本动作

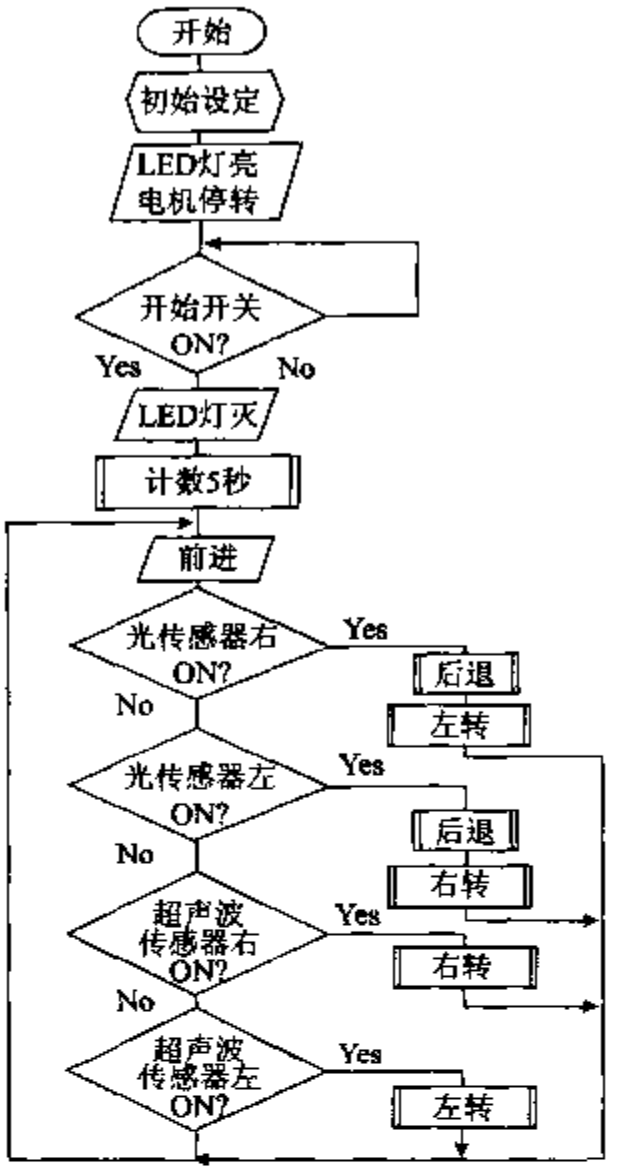
“太郎”的基本动作

① 按下开始开关，5 秒钟后开始前进；
② 在检查光传感器、超声波传感器的同时前进；
③ 光传感器如有反应（检测到摔跤场边框），则稍后退后转向，回到动作②；
④ 超声波传感器如有反应（发现敌人），则旋转 45°，回到动作②。

试着考虑了基本动作流程图。

179 页示出了机器语言的程序例。如果使用插入法等技术，还能更有效地编写程序。这里为使初学者易于理解，未使用较难的技法。

这样，程序稍长一些。



"太郎"的对抗用流程图

初始设定部分



可将程序分成几个部分来考虑。最初即是初始设定部分。初始设定部分还可以分成几个小部分。

(1) 地址设定

程序的开始地址设定为 8000H(RAM 的首地址)。堆栈指针的地址设定在 RAM 终点附近的任意地址处。



程序完成后,将 ORG 8000H 改成 ORG0000H 写入 ROM。

```
;-------------------------------
;地址设定
;-------------------------------
  ORG 8000H          ;开始地址
  LD SP,0E000H       ;堆栈指针设定
```

(2) PIO 设定

使用 EQU 语句，设定 PIO 的数据地址和口指令。

```
;-------------------------------
;PIO 初始化数据
;-------------------------------
A_DATA      EQU 1CH      A 口数据
A_COMM      EQU 1DH      A 口指令
B_DATA      EQU 1EH      B 口数据
B_COMM      EQU 1FH      B 口指令
IN_BYTE     EQU 4FH      字节输入
OUT_BYTE    EQU 0FH      字节输出
INT_NONE    EQU 07H      无插入
```

指定 A 口为输入用，B 口为输出用。

```
;-------------------------------
;PIO 设定
;-------------------------------
LD A,IN_BYTE          ;A 口字输入
OUT(A_COMM),A
LD A,INT_NONE
OUT(A_COMM),A
LD A,OUT_BYTE         ;B 口字输出
OUT(B_COMM),A
LD A,INT_NONE
OUT(B_COMM),A
```

(3) 数据设定

标明分配给 A 口、B 口各位的器件。

```
;-------------------------------
;A 口分配(输入)
;-------------------------------
PSEN_R      EQU 00H   ;光传感器右
PSEN_L      EQU 01H   ;光传感器左
WSEN_R      EQU 02H   ;超声波传感器右
WSEN_L      EQU 03H   ;超声波传感器左
START_SW    EQU 06H   ;开始开关
;-------------------------------
;B 口分配(输出)
;-------------------------------
;电机左       PB0,PB1
;电机右       PB2,PB3
;LED          PB7
```

设定 LED 和电机控制用的数据。数据会随电机的安装方向以及电压的极性等改变，所以各自要充分检查。

```
;-----------------------------
;电机控制数据(LED灯亮)
;-----------------------------
M_STOP      EQU 80H   ;停止
M_FRONT     EQU 89H   ;前进
M_BACK      EQU 86H   ;后退
M_RIGHT     EQU 85H   ;右转
M_LEFT      EQU 8AH   ;左转
;
M_STOP_OFF EQU 00H   ;停止,LED灯灭
```

如果 LED 灯亮、电机停止，那么认为初始设定部分结束。所以，一打开"太郎"的电源，LED 即呈灯亮状态。

```
;-----------------------------
;LED灯亮,电机停止
;-----------------------------
  LD A,M_STOP
  OUT(B_DATA),A
```

(4) 互相对峙部分

扫描检测开始开关，如果开始开关被按下，则立即调用定时子程序。时间设定用 B 寄存器置为 100，即定时设定为 100 * 10(ms)＝1s。由于定时子程序被调用 5 次，所以其结果是定时 5s。此期间 LED 灯灭，可对动作进行确认。

```
;-----------------------------
;开始等待5s
;-----------------------------
INKEY:IN A,(A_DATA)
      AND 40H
      JR NZ,INKEY
      LD A,M_STOP_OFF
      OUT(B_DATA),A
      LD C,5                    ;5
YET:  LD B,100                  ;5 * 100 * 10(ms)＝5(s)
      CALL WAIT                 ;1(ms)定时子程序调用
      DECC
      JR NZ,YET
```

基本动作部分



此部分为主程序。“太郎”是在扫描检测光传感器与超声波传感器的同时前进的。如果有一个传感器有反应，则调用方向转换子程序。此程序中，各传感器只是检测到1次就有效。但是，如果有小的白色脏东西落入摔跤场内等时，“太郎”就会检测到而不经考虑地转换了方向。也是出于这种考虑，为避免这种麻烦，有效的办法是空一短暂时刻对传感器进行二次检查的方法。



只有传感器两次都反应时才转换方向。程序也要这样编写才好。

```
;-------------------------------
;基本动作
;-------------------------------
ST:     LD A_M_FRONT                    ;前进
        OUT (B_DATA),A
        IN A,(A_DATA)                   ;A口输入
        LD C,A                          ;存入C寄存器
;       ---------------------------------
        BITPSEN_R,C                     ;检测光传感器右
        JR NZ,PLEFT                     ;右有反应左转
        BIT PSEN_L,C                    ;检测光传感器左
        JR NZ,PRIGHT                    ;左有反应右转
;       ---------------------------------
        BIT WSEN_R,C                    ;检测超声波传感器右
        JR NZ, WRIGHT                   ;右有反应右转
        BIT WSEN_L,C                    ;检测超声波传感器左
        JR NZ,WLEFT                     ;左有反应左转
;       ---------------------------------
        JR ST
;       ---------------------------------
PRIGHT: CALL BACK
        LD B,15
        CALL RIGHT
        JR ST
PLEFT:  CALL BACK
        LD B,15
        CALL LEFT
        JR ST
WRIGHT: LD B,40
        CALL RIGHT
        JR ST
WLEFT:  LD B,40
        CALL LEFT
        JR ST
```

子程序部分



此部分包括后退、右转、左转用的子程序。随置于 B 寄存器中的时间改变旋转角度等。



实际上驱动"太郎",需要决定定时时间。

```
;-------------------------------
;后退子程序
;-------------------------------
BACK:     LD A,M_BACK
          OUT (B_DATA),A
          LD B,60      ;旋转时间设定
          CALL WAIT
          RET
;-------------------------------
;右转子程序
;-------------------------------
RIGHT:    LD A,M_RIGHT
          OUT (B_DATA),A
          CALL WAIT
          RET
;-------------------------------
;左转子程序
;-------------------------------
LEFT:     LD A,M_LEFT
          OUT (B_DATA),A
          CALL WAIT
          RET
```



下边是以 10ms 为单位的定时子程序。置子 HL 寄存器中的数据 1900H 是根据微机板的时钟等计算得来的。

```
;-------------------------------
;定时子程序
;将传值(10ms)放入 B 寄存器后调用
;-------------------------------
WAIT:     CALL WAIT2
          DEC B
          JR NZ,WAIT
          RET
WAIT2:    LD HL,1900H
WAIT3:    DECL
          JR NZ,WAIT3
          DEC H
          JR NZ,WAIT3
          RET
```

```
;-------------------------------------
;相扑机器人"太郎"
;       1996.9.18 堀桂太郎
;-------------------------------------
;地址设定
;-------------------------------------
    ORG 8000H           ;开始地址
    LD SP,0E000H        ;堆栈指针设定
;-------------------------------------
;PIO 初始化数据
;-------------------------------------
A_DATM    EQU 1CH   ;A 口数据
A_COMM    EQU 1DH   ;A 口指令
B_DATA    EQU 1EH   ;B 口数据
B_COMM    EQU 1FH   ;B 口指令
IN_BYTE   EQU 4FH   ;字节输入
OUT_BYTE  EQU 0FH   ;字节输出
INT_NONE  EQU 07H   ;无插入
;-------------------------------------
;PIO 设定
;-------------------------------------
    LD A,IN_BYTE    ;A 口字输入
    OUT (A_COMM),A
    LD A,INT_NONE
    OUT (A_COMM),A
    LD A,OUT_BYTE   ;B 口字输出
    OUT (B_COMM),A
    LD A,INT_NONE
    OUT (B_COMM),A
;-------------------------------------
;A 口分配(输入)
;-------------------------------------
PSEN_R    EQU 00H   ;光传感器右
PSEN_L    EQU 01H   ;光传感器左
WSEN_R    EQU 02H   ;超声波传感器右
WSEN_L    EQU 03H   ;超声波传感器左
START_SW  EQU 06H   ;开始开关
;-------------------------------------
;B 口分配(输出)
;-------------------------------------
;电机左      PB0,PB1
;电机右      PB2,PB3
;LED         PB7
;-------------------------------------
;电机控制数据(LED 灯亮)
;-------------------------------------
M_STOP    EQU 80H   ;停止
M_FRONT   EQU 89H   ;前进
M_BACK    EQU 86H   ;后退
M_RIGHT   EQU 85H   ;右转
M_LEFT    EQU 8AH   ;左转
;
M_STOP_OFF  EQU 00H   ;停止,LED 灯灭
;-------------------------------------
;LED 灯亮,电机停止
;-------------------------------------
    LD A,M_STOP
    OUT (B_DATA),A
;-------------------------------------
;开始等待 5 秒
;-------------------------------------
INKEY:IN A,(A_DATA)
      AND 40H
      JR NZ,INKEY           ;开始开关
                            ;按下否?
      LD A,M_STOP_OFF       ;LED 灯灭,电机停止
      OUT (B_DATA),A
      LD C,5                ;5
YET:  LDB,100               ;5 * 100 * 10(ms)=5(S)
      CALL WAIT             ;1(ms)定时子程序调用
      DECC
      JR NZ,TET
;-------------------------------------
;基本动作
;-------------------------------------
ST:   LD A,M_FRONT          ;前进
      OUT (B_DATA),A
      IN A,(A_DATA)         ;A 口输入
      LD C,A ;存入 C 寄存器
;-------------------------------------
      BITPSEN_R,C     ;检测光传感器右
      JR NZ,PLEFT     ;右有反应左转
      BIT PSEN_L,C    ;检测光传感器左
      JR NZ,PRIGHT    ;左有反应右转
;-------------------------------------
      BIT WSEN_R,C    ;检测超声波传感器右
      JR NZ,WRIGHT;   ;右有反应右转
      BIT WSEN_L,C    ;检测超声波传感器左
      JR NZ,WLEFT     ;左有反应左转
;-------------------------------------
      JR ST
;-------------------------------------
PRIGHT;     CALL BACK
            LD B,15
            CALL RIGHT
            JR ST
PLEFT;      CALL BACK
            LD B,15
            CALL LEFT
            JR ST
WRIGHT;     LD B,40
            CALL RIGHT
            JR ST
WLEFT;      LD B,40
            CALL LEFT
            JR ST
;-------------------------------------
;后退子程序
;-------------------------------------
BACK;       LD A,M_BACK
            OUT (B_DATA),A
            LD B,60         旋转时间设定
            CALL WAIT
            RET
;-------------------------------------
;右转子程序
;-------------------------------------
RIGHT;      LD A,M_RIGHT
            OUT (B_DATA),A
            CALL WAIT
            RET
;-------------------------------------
;左转子程序
;-------------------------------------
LEFT;       LD A,M_LEFT
            OUT (B_DATA),A
            CALL WAIT
            RET
;-------------------------------------
;定时子程序
;将变元(10ms)放入 B 寄存器后调用
;-------------------------------------
WAIT;       CALL WAIT2
            DEC B
            JR NZ,WAIT
            RET
WAIT2;      LD HL,1900H
WAIT4;      DECL
            JR NZ,WAIT3
            DEC H
            JR NZ, WAIT3
            RET
;-------------------------------------
END
"太郎"的对抗用程序例
```



Q 挑战题

① **研究对抗程序**

改良为更有效的动作。

② **研究 5 秒钟立刻启动的动作**

根据对手机器人的形状及性能可选择有效的动作。

③ **研究尽量减小摔跤场地面与机器人间间隙的办法**

防止对手机器人从下面铲、捞。

④ **研究从下面铲、捞对手机器人**

安装兜裆布和吊出臂。

⑤ **研究光传感器的安装位置与数量**

要确切检测出摔跤场的边框并能安全地进行回避。

⑥ **研究超声波传感器的安装位置与数量**

要能确实发现对手机器人，并能进行有效的攻击。

⑦ **研究电机安装位置**

实验是前轮驱动还是后轮驱动等。

⑧ **改为高扭矩电机**

提高对对手机器人的推出力。

⑨ **研究电机速度的提高**

为了以灵敏的动作攻击对手。

⑩ **研究电机速度控制电路**

在摔跤场的中心要高速，靠近摔跤场边框时为防止落入场外要低速。

⑪ **研究轮胎的橡胶及轮胎的大小**

以获得有效的接触摩擦力、移动距离与功率。

⑫ **研究四轮驱动**

增加电机及轮胎使其更有力。

⑬ **低重心化研究**

为了稳定而降低重心。

⑭ **研究各种传感器**

实验研究红外线传感器及接触式传感器等更有效的传感器。

⑮ **动作后增置的研究**

利用抽真空风扇等，使之具有与摔跤场地的吸引力。

⑯ **保护体的研究**

防止让对手机器人的传感器检测出。



练习题

●检测摔跤场边缘白线时的转向及移动时间等怎样确定为好？

解答

由于有电机的位置、旋转速度、轮胎等许多影响因素，因此只能实际上试验机器人的动作，按照其运行错误来确定。

[General Information]
书名=book_11119015
作者=
页数=181
SS号=11119015
出版日期=

封面
书名
版权
前言
目录
目　　录

第 1 章电子控制的基础知识
1 传感器与执行机构
2 光传感器与温度传感器
3 磁传感器与压力传感器
4 电磁螺线管与步进电机
5 伺服电机及其应用
6 接口电路
7　　A - D转换与D - A转换
第 2 章C语言控制入门
1　LED的闪烁控制
2　LED闪烁速度的调整与音阶
3　LED闪烁的缓慢停止
第 3 章计算机控制基础
1 微机控制的种类
2 微机控制的实例
3 微机电路板
4 微机控制的顺序
第 4 章机器人的制作方法
1 机器人相扑比赛大会概况
2 自立型相扑机器人“太郎”
3 微机板的使用方法
4 机械部分的制作方法
5 电子电路的制作方法
6 执行文件的制作方法
7　ROM写入器的使用方法
8 遥控调试程序的使用方法
9 程序调试实践& 1
1 0“太郎”的程序

OHM 电子爱好者读物

机电一体化入门

〔日〕岩本 洋 主编 森田克己 天野一美 著



科学出版社
www.sciencep.com

(TN-0400.0101)
责任编辑　崔炳哲
责任制作　魏　谨
责任印制　刘士平
封面设计　李　力

◇◇◇◇◇◇◇ 内　容　简　介 ◇◇◇◇◇◇◇

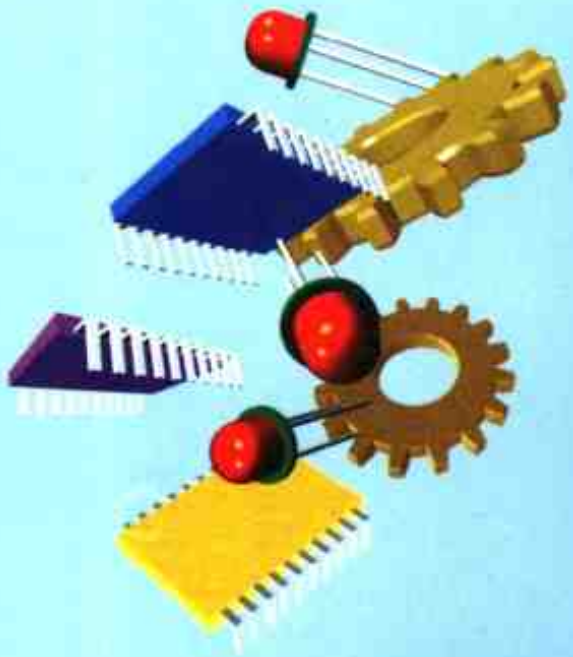
“OHM电子爱好者读物”系列共有6本，涉及电子电路、电子机械、电子控制、数字电路、机电一体化、电子技术等。本系列以初学者为对象，以实用技术为重点，利用丰富的插图，甚至建立模拟教室以对话的形式、通俗易懂地介绍相关内容。阅读本系列的读者最好边学习边实践，以使所学知识变成自己有用的技能。

本书是“OHM电子爱好者读物”之一，内容包括机电一体化的控制装置，传感器、执行机构、控制等基础知识，以及计算机与接口，输入输出装置与接口，简单的控制程序，简单装置的控制等；最后一章作为实践部分，专门介绍相扑机器人的制作技巧。

本书适合作为职业技术类教材，亦可作为企业技术人员的初级培训用教材。

OHM 电子爱好者读物

电子电路入门
数字电路入门
电子机械入门
电子电路与电子技术入门
电子控制入门
机电一体化入门



ISBN 7-03-010374-2
9 787030 103741 >

TH-39
2Y17

ISBN 7-03-010374-2
定　价: 24.00 元

OHM电子爱好者读物

机电一体化入门

〔日〕岩本　洋　主编　森田克己　天野一美　著
徐其荣　译
郑佩玉　校

A1003091

科学出版社
北京

图字：01-2002-1666 号

Original Japanese language edition
Hajimete Manabu Mechatronics Nyumon Hayawakari
By Hiroshi Iwamoto, Katsumi Morita and Kazumi Amano
Copyright © 1997 by Hiroshi Iwamoto, Katsumi Morita and Kazumi Amano
Published by Ohmsha, Ltd.
This Chinese version published by Science Press, Beijing
Under license from Ohmsha, Ltd.
Copyright © 2002
All rights reserved

初めて学ぶ
メカトロニクス入門早わかり
岩本　洋　森田克己　天野一美　オーム社　1997

图书在版编目(CIP)数据

机电一体化入门/(日)岩本 洋主编,森田克己,天野一美著;徐其荣译.
北京:科学出版社,2003
(OHM 电子爱好者读物)
ISBN 7-03-010374-2
Ⅰ.机… Ⅱ.①岩…②森…③天…④徐… Ⅲ.机电一体化 Ⅳ.TH-39
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 026229 号

责任编辑　崔炳哲　　责任制作　魏　谨
责任印制　刘士平　　封面设计　李　力

科学出版社　出版
北京东黄城根北街 16 号　邮政编码:100717
http://www.sciencep.com
深海印刷有限责任公司 印刷
北京东方科龙图文有限公司　制作
http://www.okbook.com.cn
科学出版社发行　各地新华书店经销
2003 年 5 月第　一　版　开本:B5(720×1000)
2003 年 5 月第一次印刷　印张:15
印数:1—5 000　　字数:260 000
定　价:24.00 元
(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

前言

在产业界，尤其是在制造业中的所有领域，均在追求自动化与信息化。其目的自然是为了节约劳动力、提高产品合格率与劳动生产率。

要推进自动化，机械学（mechanics）与电子学（electronics）二者缺一不可。把二者结合在一起，作为一个术语就称为“机电一体化”（mechatronics）。但“mechatronics”不是规范的英语，是日本造出来的，即所谓的日本式英语。

对“机电一体化”稍加思索就可知道，除了机械技术与电子技术之外，它还与信息技术密切相关，将这些技术综合为一体就构成了机电一体化。也就是说，机电一体化技术是由核心技术与其他多种技术组合而成的。其核心技术有：把物理量或化学量变换为电气量的传感器技术，能产生旋转运动或直线运动的执行机构技术，连接传感器与计算机或连接计算机与执行机构的接口技术等；其他多种技术则包括控制技术中的顺序控制技术与反馈控制技术和能操纵计算机的程序技术等。

本书作为技术入门书，考虑到初学机电一体化的读者，在撰稿时，我们注重了以下几点：

1. 内容表达尽量做到通俗易懂。

2. 尽量利用插图帮助读者直观地理解相关内容。

3. 以学习机电一体化的基础知识作为出发点，不详述学术理论方面的细节，而以实用为主。

4. 每二三页介绍一个主题，最后通过解习题加深对正文的理解。

本书的执笔分工如下：

第1～4章　东京都立藏前工业高等学校　森田克己

第5～8章　东京都立工业技术教育中心　天野一美

希望读者通过对本书的学习，能掌握机电一体化的基础知识，作为进一步深造的台阶。

全国工业高等学校校长协会　顾问　岩本　洋

前言

进入21世纪，尤其我国加入WTO之后，科学技术、工农业生产迎来了新的发展机遇，也面临着新的挑战。

为了适应在国际大市场上竞争的需要，各行各业的人们都迫切需要学习新技术、新理论、新方法。机电一体化正是所有人都多少会接触到的实用技术。它广泛深入到从军用到民用、从工业到农业的所有国民经济领域，小到手表、照相机，大到汽车、飞机、火箭、人造卫星、核电站等，无不应用了机电一体化的技术和产品。

《机电一体化》这本书，是满足各行各业人们需要的一本入门教材。书中对原理的讲述深入而详细，图文并茂，文字浅显易懂，并有练习题、挑战题，便于复习掌握要点。非常适合作为中高级技师、就业培训及军地两用人才的培训教材，也可以供有初中以上文化程度的有兴趣的读者自学之用。也是理工科中等专业学校的教师们了解这方面知识的必备教材或参考手册。本书的编写既全面地描述了机电一体化的各方面技术，充分阐述其基本原理，又有非常实用的例子，适合实际制作，并且各章节中一个一个专题均自成体系，相对独立。适合于不同层次的读者任意选学。由于本书的上述特色，其原版书十分畅销并已多次重印，深受读者欢迎。

本书中所提及的内容，既有当前正在普及的技术，也有一些比较新颖的内容，如最后部分介绍的机器人的制作等。读者可在掌握本书内容的基础上，进一步学习自己感兴趣的相关新技术，努力跟上时代的前进步伐。

目　录



第1章 机电一体化的控制装置 1

1 机电一体化的支持技术 …… 2
2 常见的机电一体化 …… 5
3 机电一体化的机械装置 …… 8
4 机电一体化的电路知识(1) …… 11
5 机电一体化的电路知识(2) …… 14
6 可编程序控制器 …… 17
7 PC的编程 …… 20
◆ 挑战题 …… 23

第2章 传感器的基础知识 24

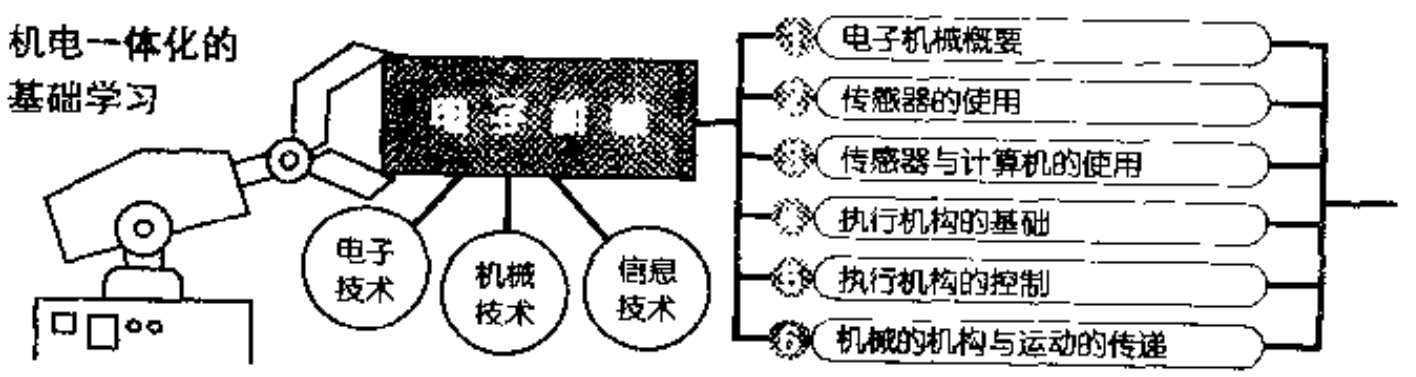
1 传感器的定义 …… 25
2 各种各样的传感器(1) …… 28
3 各种各样的传感器(2) …… 31
4 来自传感器的输入信号 …… 34
5 数字量的输入 …… 37
6 模拟量的输入 …… 40
7 传感器输入实践 …… 43
◆ 挑战题 …… 46

第3章 执行机构的基础知识 47

1 执行机构的作用 …… 48
2 执行机构的驱动电路 …… 51
3 继电器电路 …… 54
4 使用晶体管的驱动电路 …… 57
5 螺线管驱动电路 …… 60
6 步进电动机的驱动电路 …… 63
7 固体继电器的驱动电路 …… 66
◆ 挑战题 …… 69

第4章 控制的基础知识 70

1 控制的定义 …… 71
2 计算机控制的定义 …… 74
3 数字信号的定义 …… 77
4 逻辑电路实验装置的制作方法 …… 80
5 IC实验(1)　AND电路的实验 … 83
6 IC实验(2)　OR、NOT电路的实验 …… 86
7 IC实验(3)　NAND、NOR电路的实验 …… 89
◆ 挑战题 …… 92



第5章 计算机与接口 93

1 计算机的构造 …… 94
2 计算机的信号(1) …… 97
3 计算机的信号(2) …… 101
4 接口的定义 …… 104
5 数据传输标准与通用接口 …… 107
6 信号与程序 …… 110
7 用于控制的主要程序语言 …… 113
◆ 挑战题 …… 116

第6章 输入输出装置与接口 117

1 8255 输入输出接口管脚与使用模式 118
2 试制 8255 输入输出接口板(1) …… 121
3 试制 8255 输入输出接口板(2) …… 124
4 8 位发光二极管的点灯电路 …… 127
5 开关用接口电路 …… 130
6 电磁继电器与接口 …… 133
7 小型直流电动机的接口 …… 136
◆ 挑战题 …… 139

第7章 简单的控制程序 140

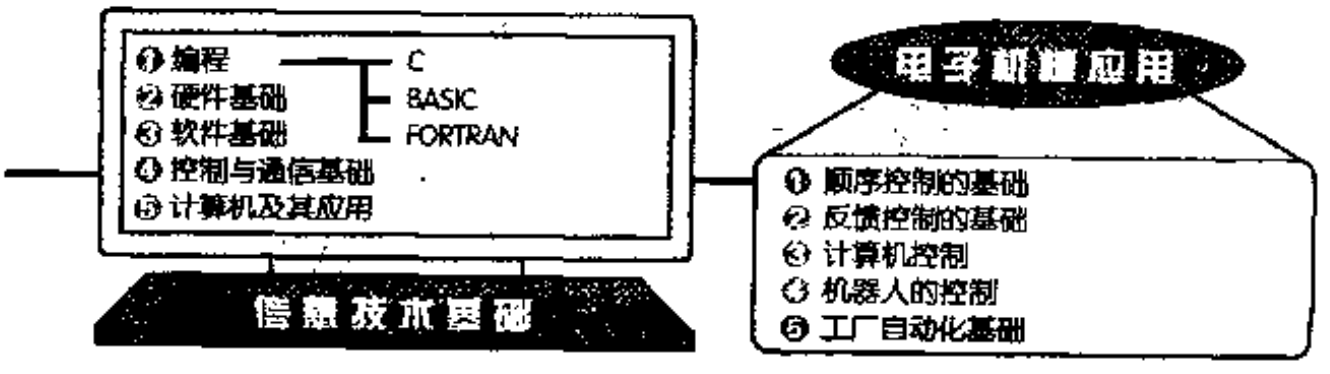
1 在控制中使用 C 语言的基本知识 … 141
2 8 位发光二极管的亮、熄程序 …… 145
3 利用开关的控制 …… 148
4 利用传感器的控制 …… 151
5 汽缸的控制 …… 154
6 直流电动机的控制 …… 157
7 步进电动机的控制 …… 160
◆ 挑战题 …… 163

第8章 简单装置的控制 164

1 用气动执行机构的传送装置的控制 …… 165
2 简单自动门的控制 …… 175
3 用步进电动机的传送装置的控制 … 183
4 铁路模型的控制 …… 195
5 中断控制的设计 …… 206
◆ 挑战题 …… 209

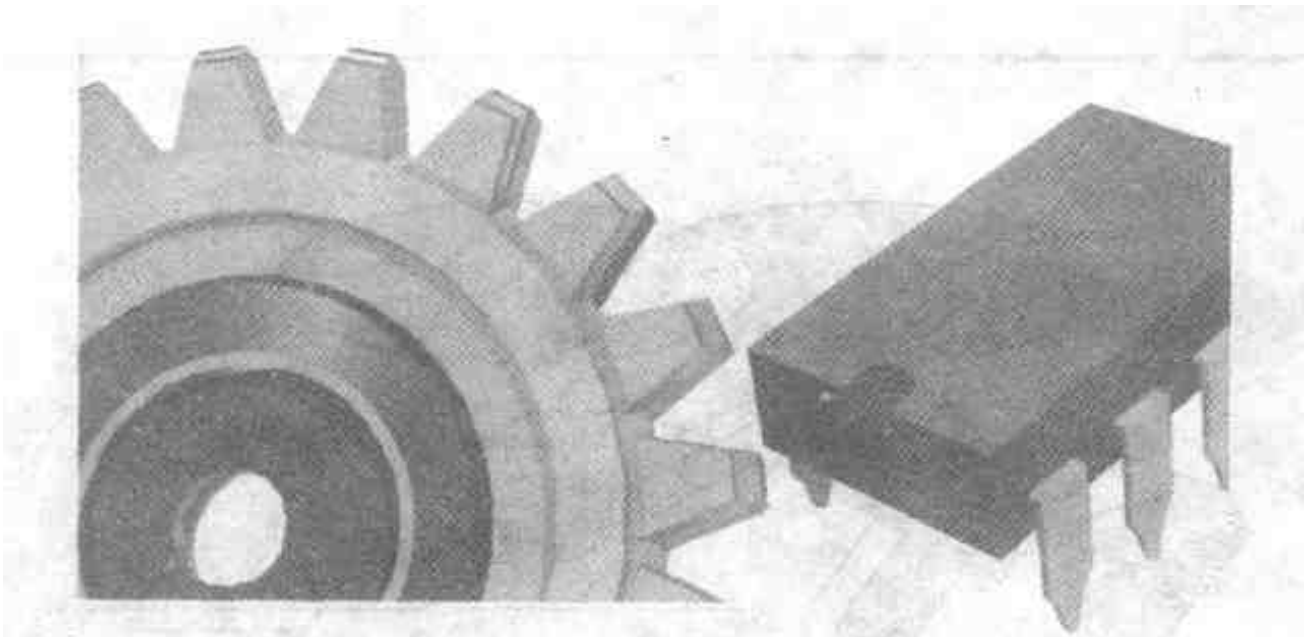
第9章 相扑机器人的制作技巧 210

1 相扑机器人的定义 …… 211
2 相扑机器人的体检 …… 214
3 相扑机器人的组装(1) …… 217
4 相扑机器人的组装(2) …… 220
5 相扑机器人的组装(3) …… 223
6 相扑机器人的组装(4) …… 226
7 相扑机器人的控制 …… 229
8 相扑机器人比赛大会规则摘要 …… 232



第1章

机电一体化的控制装置



机电一体化控制装置的发展

20世纪50年代，从洗衣机、黑白电视机进入家庭开始，兴起了工厂中的自动化风潮，运筹学与质量控制这些名词开始广泛传播。

20世纪60年代，日本进入以“日本列岛改造论”为特征的工业成长时期，开始了以奥林匹克为标志的繁华时代，随着高速公路、新干线的建成运营，街道上的汽车开始拥挤起来。号称3C的三大件，汽车（Car）、彩色电视机（ColourTV）与电冰箱（Cooler）已开始进入家庭。

20世纪70年代，在与电气设备相关的产业中，要求自动化、省力化的呼声已越来越高，控制装置被装入了产业机械之中，从而使劳动生产率得到飞速提高。

另外，由于半导体技术的快速发展和大规模集成电路的出现，进而进入微电子技术时代，也就进入了机电一体化的时代。机电一体化是传统的机械装置要素与电子装置要素的复合体作为特征的控制装置，现在不仅用在汽车与家用电器上，也用到了工厂里的生产设备上。

由于控制装置中装入了计算机而推进的机电一体化，使省力化、自动化更快地发展，制造出更方便、更小巧、更可靠、更具智能化功能的产品。

若以印制电路板用继电器的产量来考察这一机电一体化进展程度的话，1985年度的年产量为4亿个，八年后1993年度的年产量为10亿个。10亿这个数字就意味着每个日本人拥有10个当年所生产的印制电路板用的继电器。由此数字可推测，社会生活中所用的控制装置数量是多么巨大。

1 机电一体化的支持技术

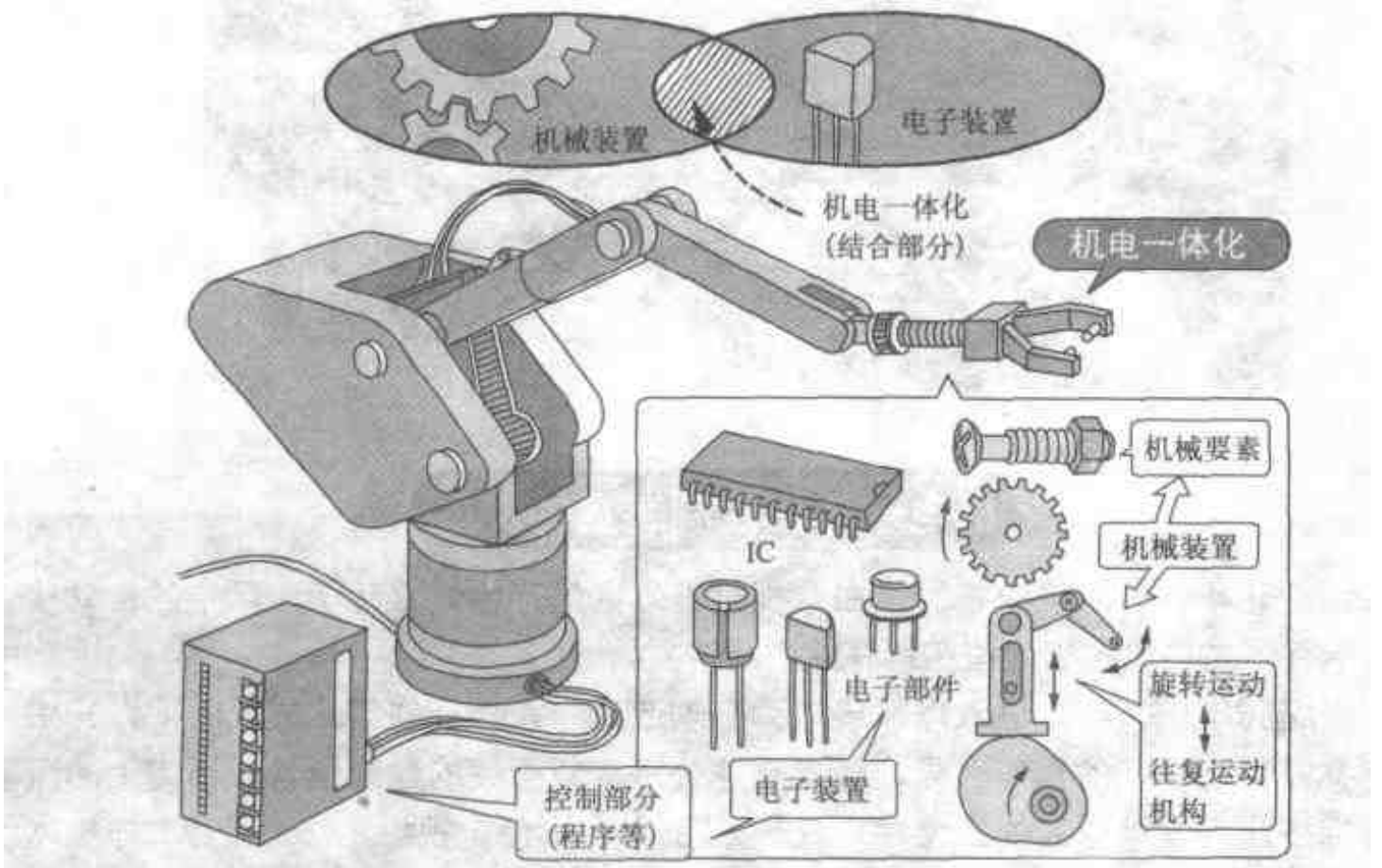


图 1　机电一体化示例

Ⅰ 机电一体化的定义

“机电一体化”这个名词，现在已作为极普通的术语，在电视或新闻等有关大众传播媒体中广泛使用。

这一广为传播的术语，是机械意义上的机械技术与电气、电子意义上的电子学技术相结合，从而产生的日本式英语“机电一体化”(mechatronics)。

图 1 所示的机械手，可作为机电一体化的典型例子。其机械部分由螺钉、

齿轮、弹簧等机械零件和把它们组合起来的连杆机构组成。而作为信息处理装置的电子装置部分，为了得到更好的控制性能，由集成电路、电阻与电容器等电子电路元器件构成。

机电一体化这一术语产生的背景，可归结为 1980 年以来电子技术、信息技术的飞速进步以及这些技术与机械技术优势互补的结果。

现在，依靠机电一体化技术，用更新的技术进行设计、制造与开发，就能创造出高度机电一体化的机器。这就是所说的“机电一体化的发展，开创了今天的高度信息化时代”。

Ⅱ 机电一体化的背景

我们考察一下机电一体化成为现代产业发展中心的背景。

大规模集成电路性能的提高与廉价销售

从真空管发展到晶体管是一个很大的变革，其特征可列举如下：

① 体积缩小；

② 性能的提高和功耗的降低；

③ 廉价销售。

从晶体管发展到大规模集成电路，再进一步发展到超大规模集成电路，更加快并强化了上述的变革特征。使机电一体化以更快地高速度向前迈进。

微处理器(超小型运算处理装置)技术的发展

随着超大规模集成电路技术的发展，开发出了使用更高性能微处理器的计算机。以前要用大型计算机处理的工作，现在用小型化后很容易装入机器中的计算机，同样也能处理。

传感器的发展与信息的利用

举例来说，像图 2 所示的液面控制装置，现在还是有继续使用浮子进行沉浮控制，以实现阀门的打开与关闭操作的。

现在，可利用半导体传感器对液面进行控制，只要把随时间变化液而高度、变化幅度等物理量信息，变换为电信号提取出来，就能按要求进行控制。因此，由于传感器的发展，使得迄今为止作为信息处理有困难的化学量等，也能把它转换为数字量来处理。

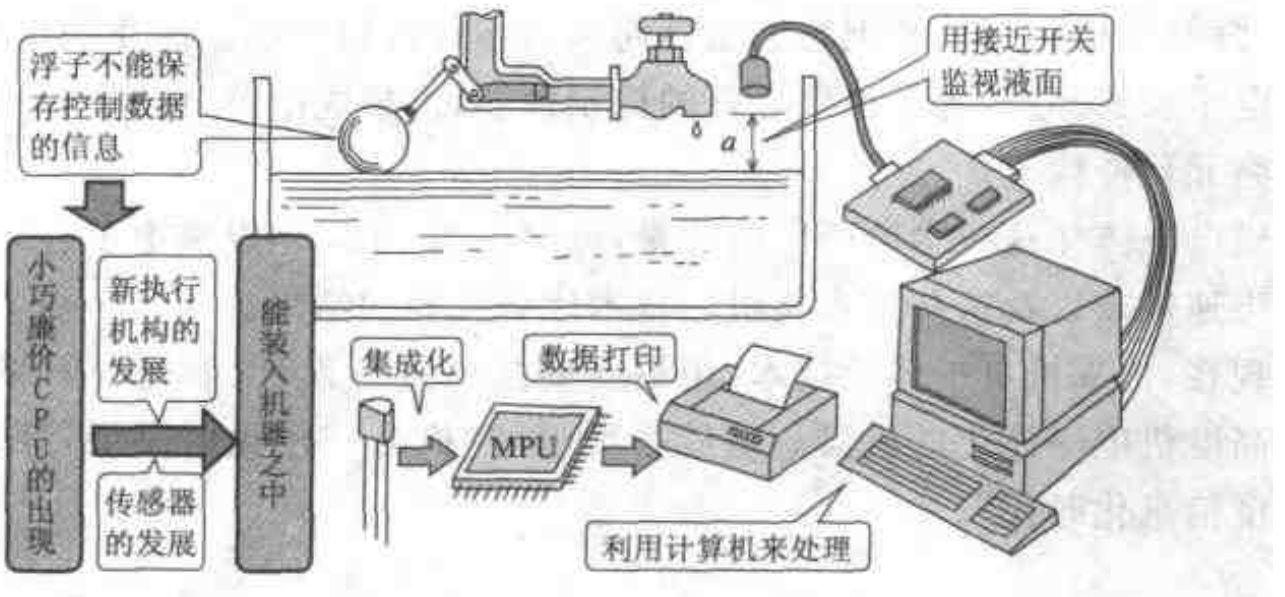


图 2　液面控制

执行机构的开发

在机电一体化发展的同时，也开发了便于用电信号控制的驱动装置，例如步进电机等新的执行机构产品。借助这种具有机电一体化功能的执行机构，能开发出以前的机器或设备上无法实现的高精确度、高精密度的工件制品。同时，要想制造满足消费者需要的新式产品，只要通过变更控制程序，就能尽快且方便地实现。

在家庭生活中，也已充满了内置微型计算机的电气设备。所以说，机电一体化的发展会对现代社会带来无法估量的巨大影响。

2 常见的机电一体化

为了更好地理解机械（设备）的动作原理，现以平面绘图仪为例，来考察一下机电一体化的构造。

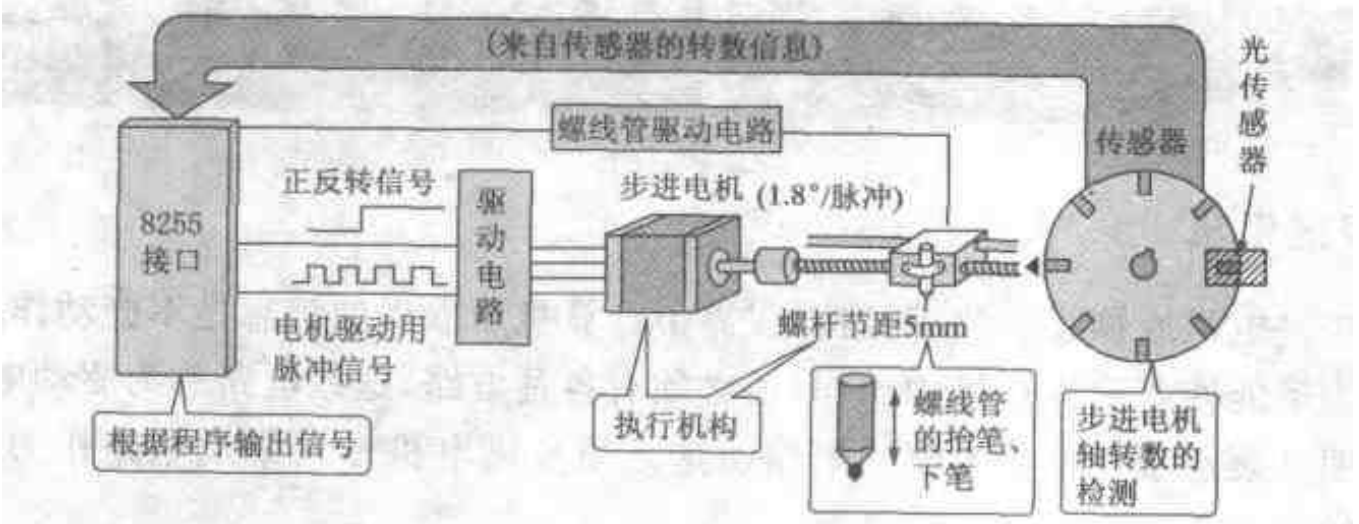


图 1 平面绘图仪的系统

I 平面绘图仪的系统

先考察一下关于平面绘图仪运动执行机构的控制系统。

步进电机的驱动

根据从图 1 所示的计算机中取得的信号，X 方向的步进电机或 Y 方向的步进电机会转动一个相应的角度。

画笔的抬起与放下(螺线管)

图 1 所示的绘图仪中，绘图与否是通过螺线管使画笔放下与抬起来实现的。步进电机与螺线管，就相当于平面绘图仪的两种执行机构。

II　传感器输入

转数(转角)的控制

图 1 所示平面绘图仪处于未使用状态，图中所示的步进电机驱动轴的一端，装有带缝隙的转盘，若装上穿透型光传感器，就能检测出轴的转数(即步进电机的转数)。以此对控制的状态进行监视，并对产生的状态进行控制，就称为闭环控制。与此对照，按照程序，按照指令的顺序来进行控制的方式，称为开环控制。一般来说，闭环控制能实现的控制精度高。

III　驱动电路

步进电机

步进电机或螺线管执行机构，仅靠由计算机所取得的信息是不能动作的。为了能使各种执行机构动作，还必须有各种电路。这些电路称为驱动电路。

图 2 表示步进电机的驱动电路。这是用步进电机专用集成电路作为驱动电路的例子。

确定步进电机正、反转转向用的信号，与使步进电机旋转用的脉冲信号，都必须有相应的输入端子。另外，对步进电机施加励磁有三种方式可供选择，即单相励磁、双相励磁与单、双相混合励磁。为此，还必须备有方式选择用的端子。

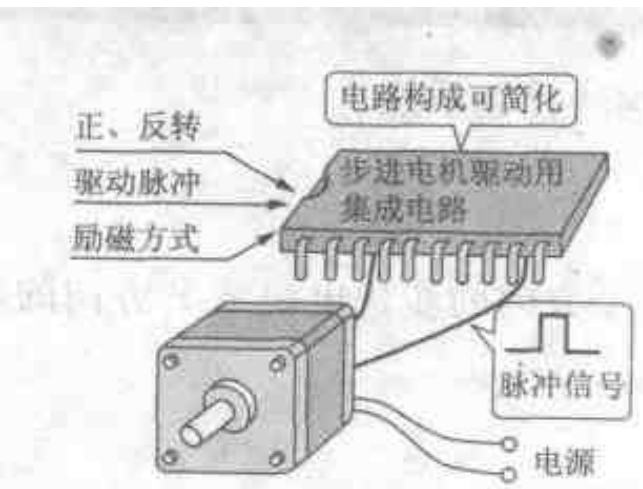


图 2　步进电机驱动电路

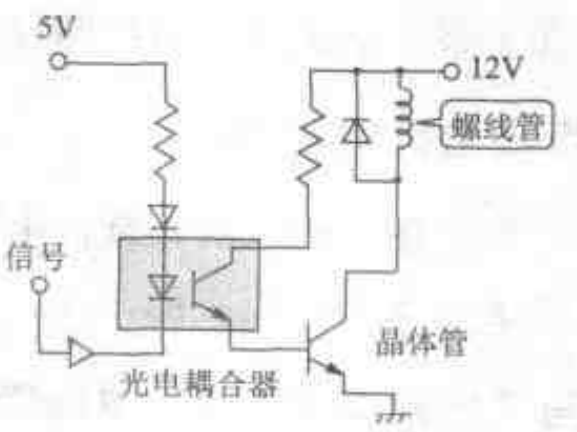


图 3　螺线管驱动电路

如图 2 所示，若用各种不同的步进电机专用集成电路作为驱动电路，则可简化电路结构，并能有效地发挥执行机构的功能。

螺线管

图 3 是放下与抬起画笔用的螺线管驱动电路的例子。取自接口的信号，经过晶体管的放大，便可得到驱动螺线管所必须的功率。

另外，像螺线管这类执行机构，在断开励磁时，会产生浪涌电压与噪声干扰等现象，并通过接口传入计算机，成为产生控制误动作的起因，可用光电耦合器来消除这种影响。

根除这种噪声干扰产生的误动作，是机电一体化中至关重要的课题。

Ⅳ 工作机构

画笔移动机构

画笔的移动，是通过连轴器把步进电机的旋转传递给螺杆位移机构来实现的。绘图仪的精度则由相当于步进电机一个脉冲转角所传递的导程来决定。

这样，把工作机构与执行机构的作用联系在一起，就能实现一种功能的机电一体化。

画笔的连杆部分

图 4 所示为利用弹簧的弹力机构使螺线管复位。

综上可见，机电一体化就是把电气、电子技术与机械技术结合起来的技术。

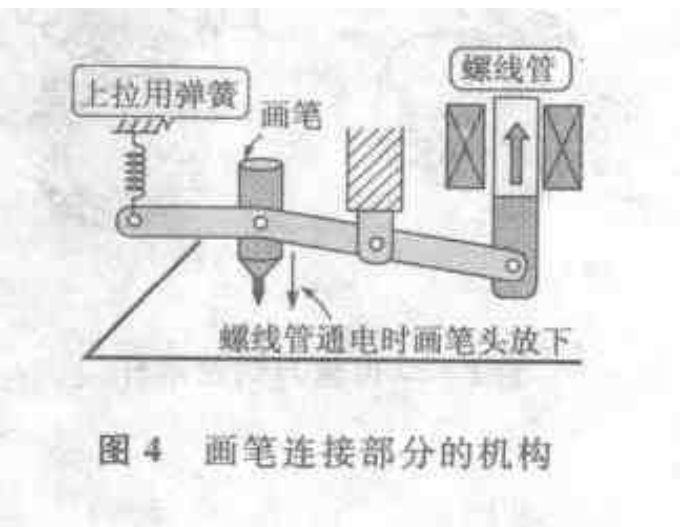


图 4 画笔连接部分的机构

3 机电一体化的机械装置



在机电一体化中，利用电动机的旋转运动来驱动机械装置，构成这类机械装置的部件称为“机械零件”。机械零件中传递旋转运动常用的有齿轮与固定部件用(将一些部件固定)的螺丝。这里介绍它们的基础知识。

1 齿轮的基础知识

齿轮传动的特征

齿轮能可靠地传递电动机等的旋转运动。通过改变齿轮的齿数，可自由地改变转速比。根据齿轮的种类，有的齿轮能传递齿轮轴的角度。

[例]　伞齿轮等的利用(参见图 1-(a))。

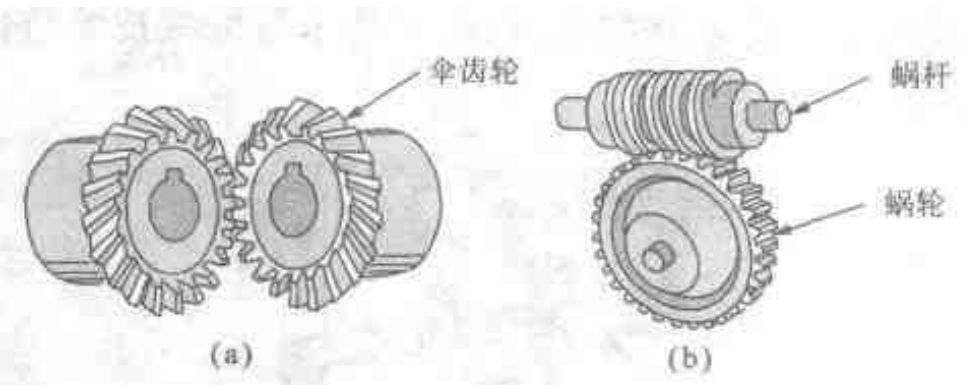


图 1　伞齿轮与蜗轮蜗杆

有的齿轮能传递大的减速比。

[例]　蜗杆与蜗轮的利用(参见图 1-(b))。

齿的大小

齿越大则能传递的力越大。常用的渐开线齿轮，用“m＝模数”来表示齿的大小。实际齿的大小(高度)是此模数的 2.25 倍。如图 2 所示，若齿的高度约为 9mm，则 9/2.25＝4，所以齿轮的齿的大小为模数 m＝4 时的大小。

由齿轮外径求模数的方法

① 用尺或游标卡尺测量齿轮外径。

② 数该齿轮的齿数。

③ 代入下列算式求 m。

m＝外径/(齿数＋2)。



图 2　模数(齿的大小)

轴距(轴与轴的中心之间距离)的求法

由齿轮的模数(m)与两个齿轮的齿数(Z_1、Z_2)，可按下式算出两个齿轮啮合时的轴距：

$$轴距＝m(Z_1＋Z_2)/2$$

例　题

① 模数求法

有一个外径为 64mm 的齿轮(参见图 3)，求齿数为 Z_1＝30 个时的模数。可以按下式求得：

$$m＝64/(30＋2)$$

得到 m＝2。

② 齿数比(减速比)(参见图 4)

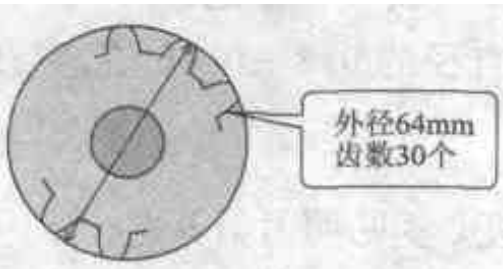


图 3　齿轮模数的计算例子

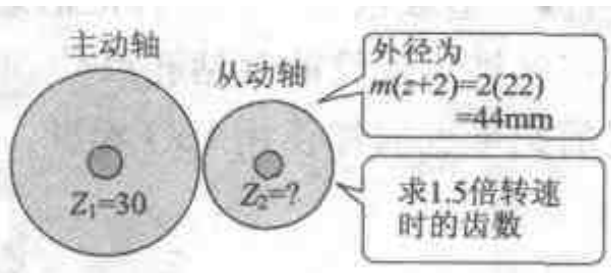


图 4　减速比

Z_1 为主动轴齿轮的齿数，要使从动轴以 1.5 倍的速度旋转，则从动轴的齿轮数 Z_2 可按下列计算求得。

由齿数比 i 为 $1.5＝Z_1/Z_2$ 得

$$Z_2＝Z_1/1.5$$

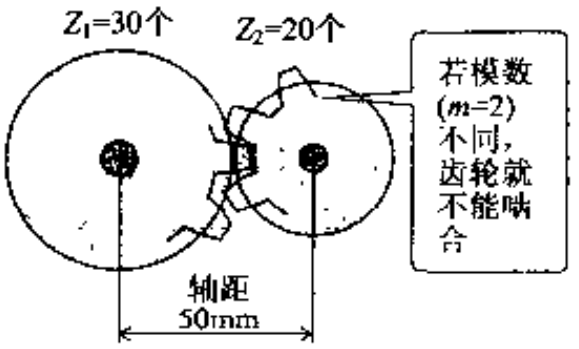


图 5　轴　距

代入 $Z_1=30$，则

$$Z_2=30/1.5=20$$

所以 Z_2 的齿数为 20 个。

③ 轴距(参见图 5)

齿数 $Z_1=30$ 个与 $Z_2=20$ 个的齿轮啮合时的轴间距离，按下式计算：

$$\text{轴距}=m(Z_1+Z_2)/2=2(30+20)/2=50$$

Ⅱ　螺　纹

三角形螺纹

螺纹的规格要符合 ISO(国际标准化组织)标准，以保证互换性。

两个部件(机械零件)之间的固定，主要用三角形螺纹(公制普通螺纹)。图 6 示出了三角螺纹各部分的名称。

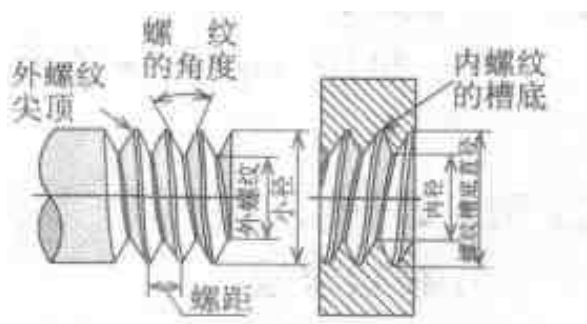


图 6　螺纹的名称

螺纹标准与否，用下列标准化尺寸来衡量：

① 螺纹外径(称为公称尺寸)；

② 螺纹角度(60°)；

③ 螺距(从螺纹顶尖到螺纹顶尖的长度)。

螺纹的标准因在国际上尚未统一，现在还常出现各种各样的标准。在制造新的机电一体化装置时，应尽量使用 ISO 标准的螺纹，尽管库中有旧标准的存货，会因此造成浪费。ISO 标准的螺钉头上有“M”或“·”标记。

用丝锥攻螺纹的预钻孔尺寸，取螺钉公称直径的 0.8～0.85 倍。与螺钉相对应的螺母也同样使用 ISO 标准。

滚珠丝杠(参见照片 1)



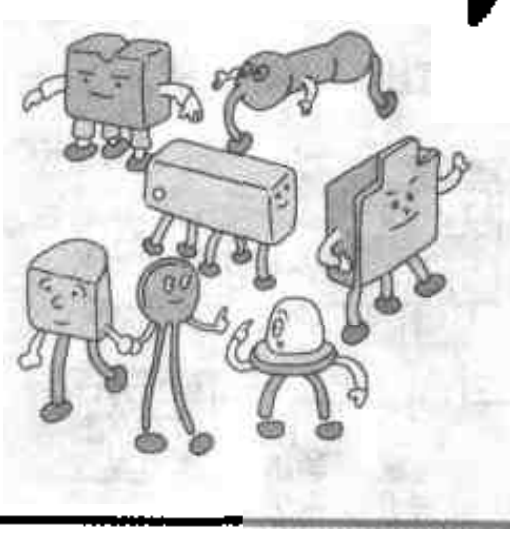
照片 1　滚珠丝杠

机电一体化在机床工作台的驱动之类应用中，在内螺纹与外螺纹之间加入滚珠，在进给螺纹中，滚珠丝杠起传递力的作用。

4 机电一体化的电路知识(1)

在学习和实践中，如想掌握机电一体化的基础理论或接口技术，都需要电气和电子的基础知识。

以下介绍有关实际常用元器件的标准及表示方法等基础知识。



Ⅰ 电　源

由于计算机或接口控制电路都要用集成电路(IC)，如晶体管-晶体管逻辑电路(TTL)或互补金属氧化物半导体(CMOS)电路，所以需要用直流 5V 作为驱动电源(参见图 1)。

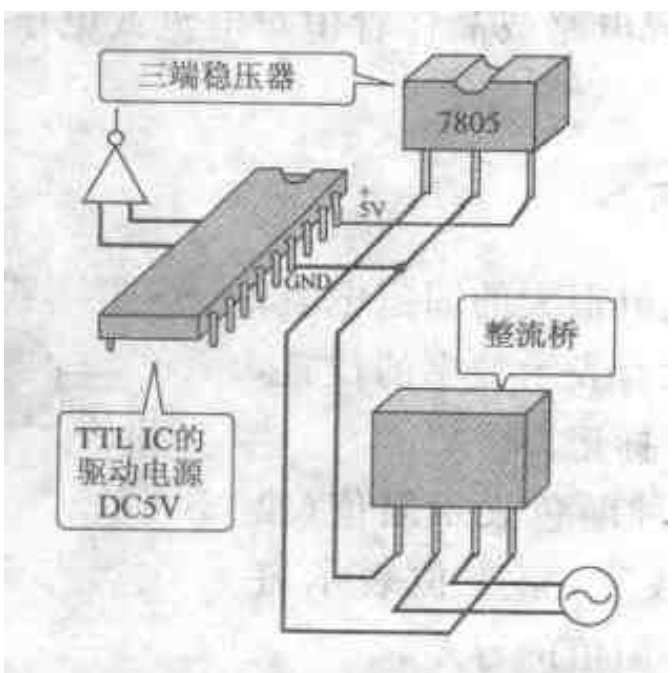


图 1　IC 用驱动电源

另外，运算放大器(OP)或数-模转换器(D/A)等，需要±12V、±18V 的电源。电源可用市购或自制的直流电源。电源容量应根据电路所需要的电流来选择。如果执行机构的驱动电源由其他电源供给，那么电源容量用 2A 左右就可以了。

II　三端稳压器

为了稳压，用图 2 所示的三端稳压器。三端稳压器的 4 位数字定义如下：

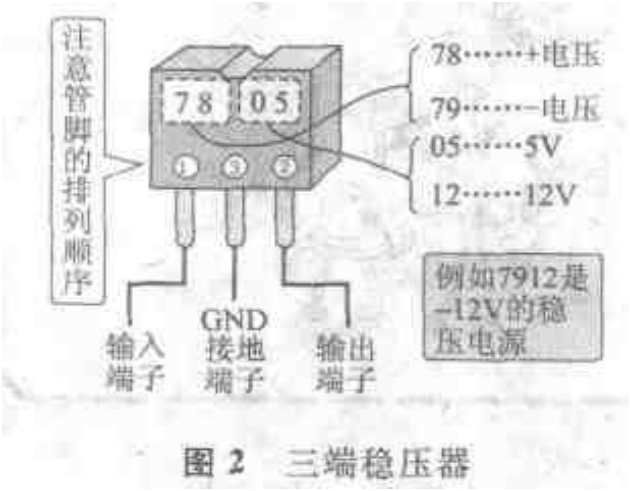


图 2　三端稳压器

头两位数字是相对地(GND)的输出电压的正或负；后两位数表示固定电压的大小。例如：

7805 为＋5V　7905 为－5V

7812 为＋12V　7912 为－12V

三端稳压器的输入端所加的电压，要比输出端输出的电压高一些。输出端电压为 5V，输入电压可为 7～18V 左右。

把这一输入电压与输出电压的能量之差以热量的形式散发出去，以实现稳压，所以三端稳压器必须有散热片。

III　电　阻

电阻也称为电阻器，顾名思义，电阻是阻止电路中电流流动的元器件。利用这一性质，可用于集成电路或晶体管中对电流或电压进行必要的调整，以使器件正常工作。

固定电阻器的色环

电子电路都用电阻值很大的固定电阻，其中小型固定电阻因没有表示数字的位置，阻值及其容差用色环来标记。

如图 3 所示，前三种颜色表示阻值(第一、第二位表示有效数字，第三位表示幂次)，最后一种颜色表示阻值的容差。

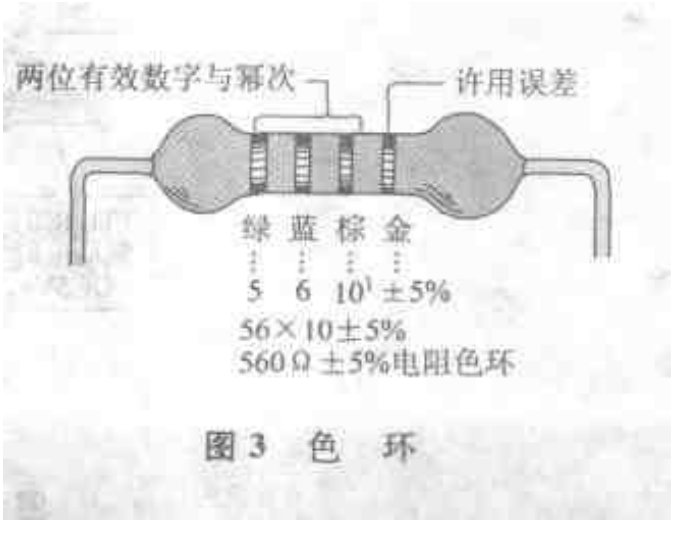


图 3　色　环

额定功率

选择电阻时，尽管常常忽视额定功率，但因流过电阻的电流会产生热量，额定功率是它很重要的指标，通常用的电阻额定功率为 0.125～5W 左右。

可按图 4 求得固定电阻器的额定功率，应满足以下关系：

电阻器的额定功率＞电阻器的消耗功率

实际上，要取 2～2.5 倍的冗余量。

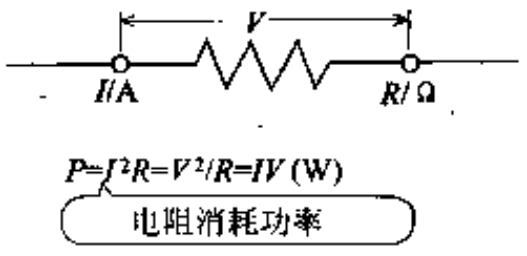


图 4　电阻器的消耗功率

可变电阻

可变电阻因阻值可变化，一般以最大电阻值表示。

电位器：通常使用转角与阻值成线性关系的电阻器。

半可调电阻：用于调整一次后几乎不需要再变更阻值的场合。

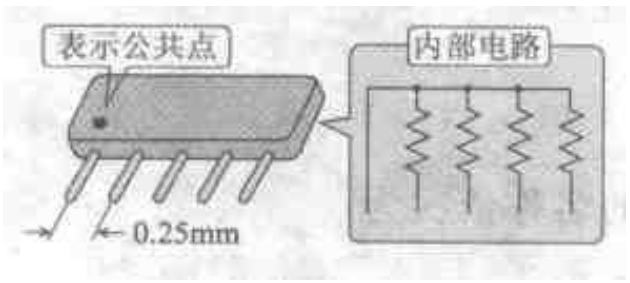


图 5　电阻阵列

电阻阵列(集成电阻)

是多个电阻器封装为一体的电阻器，它有减少元器件个数，有效利用主板面积的优点。除了图 5 所示的带公共端(公用)的 4 元件型外，还有 8 元件型的也常用。端子的间隔与 IC 引脚间距(0.25mm)相适应，所以能够组装到基片上。

电阻的色环表示

色　名	第 1 色带	第 2 色带	第 3 色带	第 4 色带
	第 1 位数字	第 2 位数字	幂　次	标称电阻值允许误差
黑　色	0	0	10^0	—
棕　色	1	1	10^1	±1%
红　色	2	2	10^2	±2%
橙　色	3	3	10^3	—
黄　色	4	4	10^4	—
绿　色	5	5	10^5	±0.5%
蓝　色	6	6	10^6	—
紫　色	7	7	10^7	—
灰　色	8	8	10^8	—
白　色	9	9	10^9	—
金　色	—	—	10^{-1}	±5%
银　色	—	—	10^{-2}	±10%
—	—	—	—	±20%

5 机电一体化的电路知识(2)

1 晶体管

晶体管的形状

晶体管具有如图 1 所示的三个管脚，管脚的名称依次为

发射极　E
集电极　C
基　极　B

图 1 示出了两种类型(PNP 型、NPN 型)的晶体管。通常管脚排列如图 1 所示，但也有例外的情况，所以在使用时，最好查阅技术参数表。

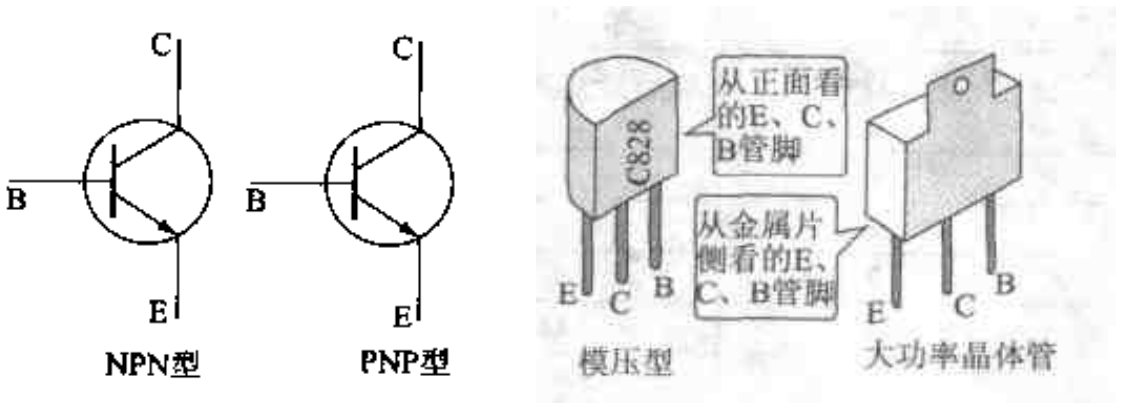


图 1　晶体管的形状

晶体管管脚辨别方法

晶体管可看作是由两个二极管连接成的器件，可进行测试，如图 2 所示。通过确定二极管的正向，即可辨别晶体管管脚，需要的话，也能检查晶体管的好坏。

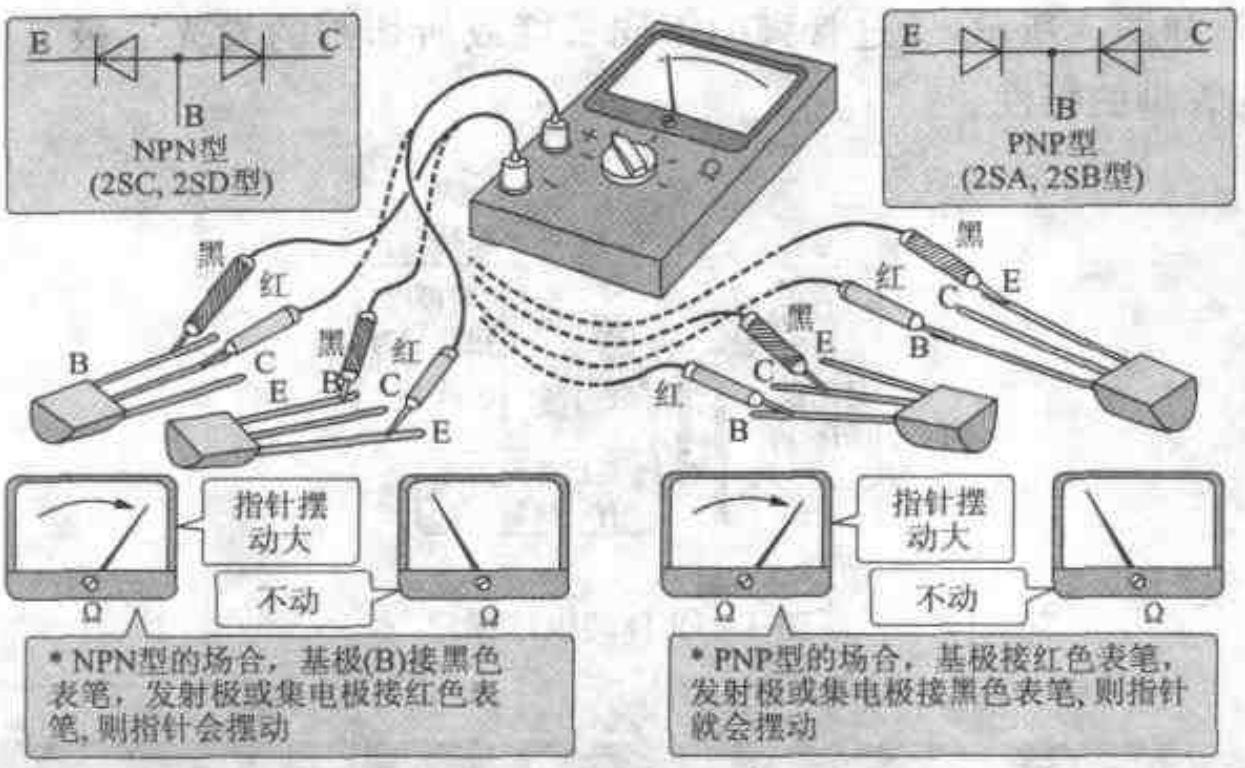


图 2 晶体管管脚辨别方法

Ⅱ 二极管

二极管有两个管脚，有单方向通过电流的整流作用。在施加正向电压时，电流通过的方向为正向(正极到负极的方向)，把不通电流的管脚方向称为反向(负极到正极的方向)。要辨别是哪个管脚时，可用万用表按图 3 方法测试。

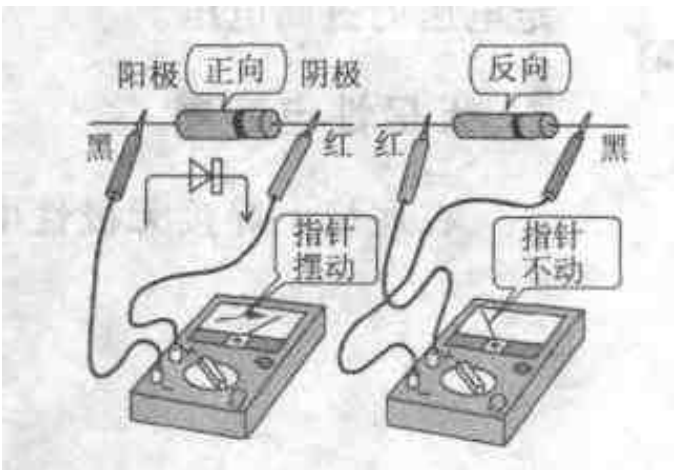


图 3 二极管的测试

Ⅲ 发光二极管

发光二极管(LED)具有正向通过 10mA 左右的电流时就发光的性质。发光二极管的测试方法基本上与图 3 相同。万用表指针摆动，则黑色表笔所接的就是正极。

通常，如图 4 所示，通过管脚的不同长度或所切割的发光二极管管体形状也能辨别管脚的极性。

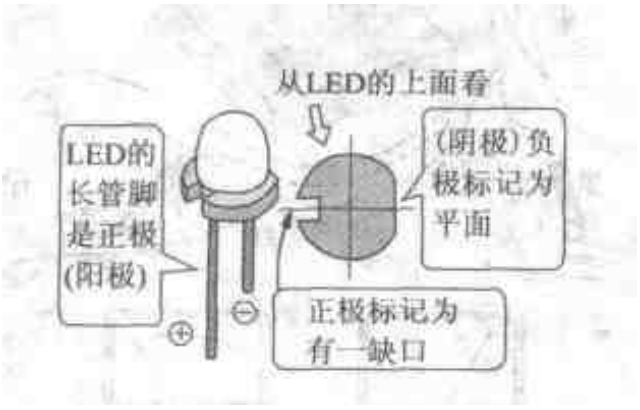


图 4　LED 的极性标记

Ⅳ 电容器

可以从有无正负极性分为有极性电容器(电解电容器)和无极性电容器。

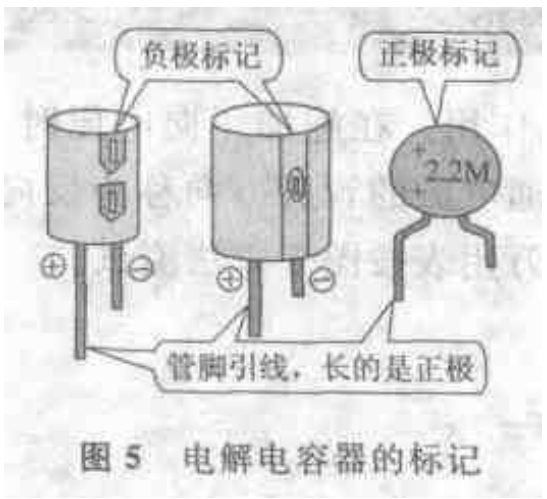


图 5　电解电容器的标记

有极性电容器

如图 5 所示，有极性电容器以不同的管脚长度或“－”标记来表示极性。在电路中安装电容器时，必须十分注意其极性。并且不得施加大于额定电压的过高电压。

无极性电容器

在底板上焊接无极性电容器时，不必区别其管脚的极性。

电容器容量的表示

电容器容量的表示如图 6 所示。三位数字中，头两位是常数，接着的数字为 10 的幂次数。所得到的数值单位为 pF(皮法)。

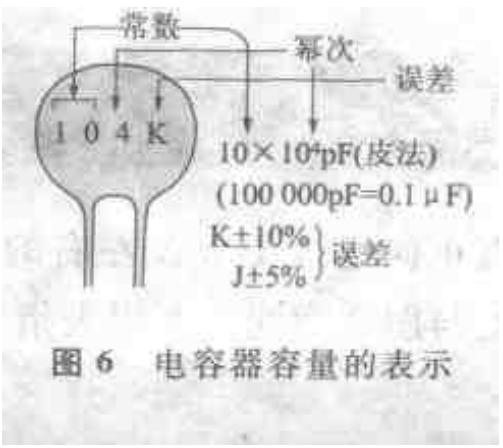
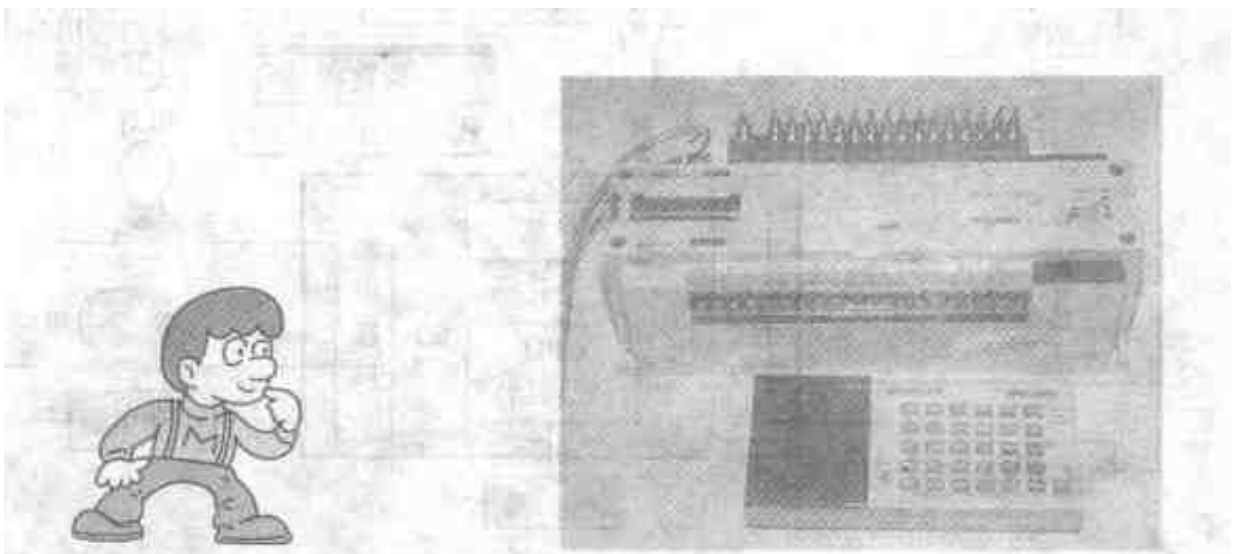


图 6　电容器容量的表示

6 可编程序控制器



照片 1　PC 的外观

I　可编程序控制器的定义

生产现场希望能结合市场需要“多品种、少数量”地生产。

生产现场需要自动化(FA:Factory Automation)生产系统的同时,也需要能适应多种产品的柔性制造系统(FMS:Flexible Manufacturing System)。这种生产方式,通常使用一种顺序控制器即 PC(可编程序控制器)。

在生产现场中的数控机床或加工中心,机器人的控制或管理上,PC 均起重要的作用。并且,在电梯等自动化系统中,也用 PC 作为控制器。

PC 是在 1969 年开发的,以后随着半导体、微处理器技术的发展,成了能使用程序的多功能控制器。可以说 PC 就是生产现场用的机电一体化装置。照片 1 为 PC 的外观。

Ⅱ　PC 的结构

如图 1 所示，PC 由输入接口、输出接口、存储器及 CPU 构成。通过相当于个人计算机键盘的编程板，可对 PC 内部的存储器编程序，并使其按程序进行控制。

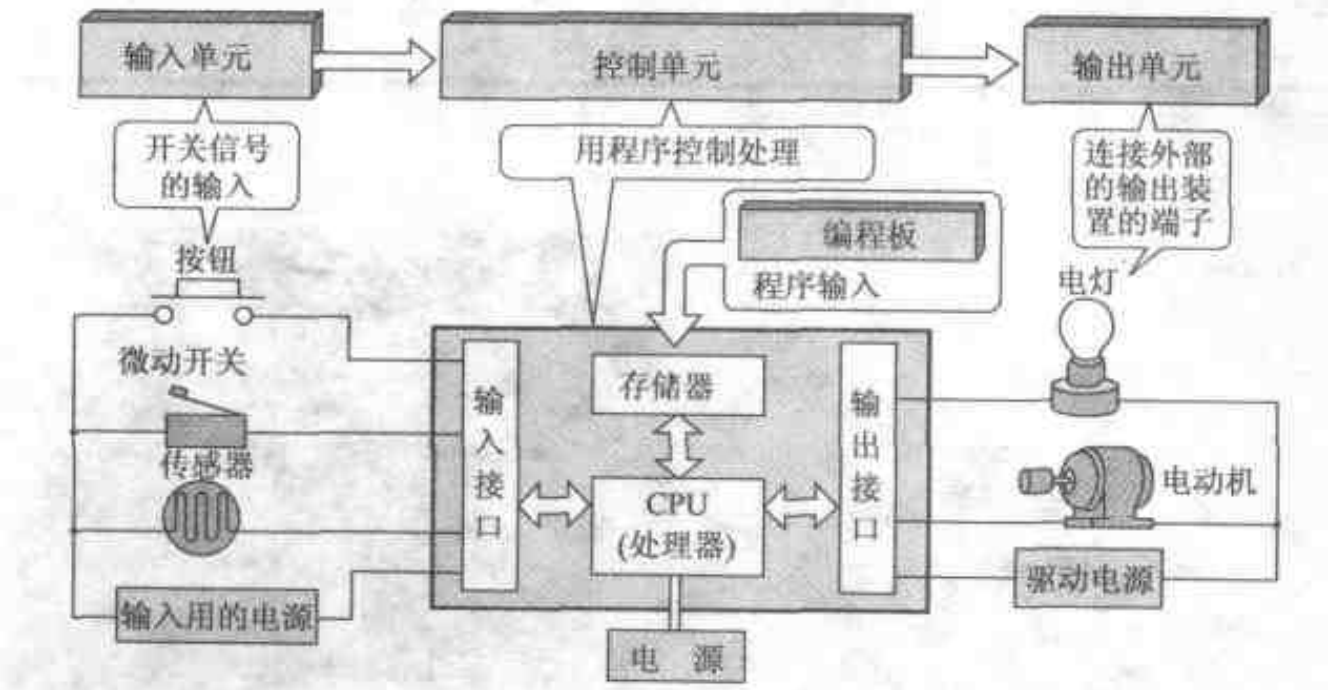


图 1　PC 的结构

Ⅲ　PC 内的信号流

PC 内的信号流示于图 2，根据从外部取得的开关等的信号，使 PC 内部的输入继电器接点动作。由此信号，按 PC 本体内存储器中所存的事先编好的程序，进行 PC 内部的控制。其结果，使 PC 内的输出继电器动作。

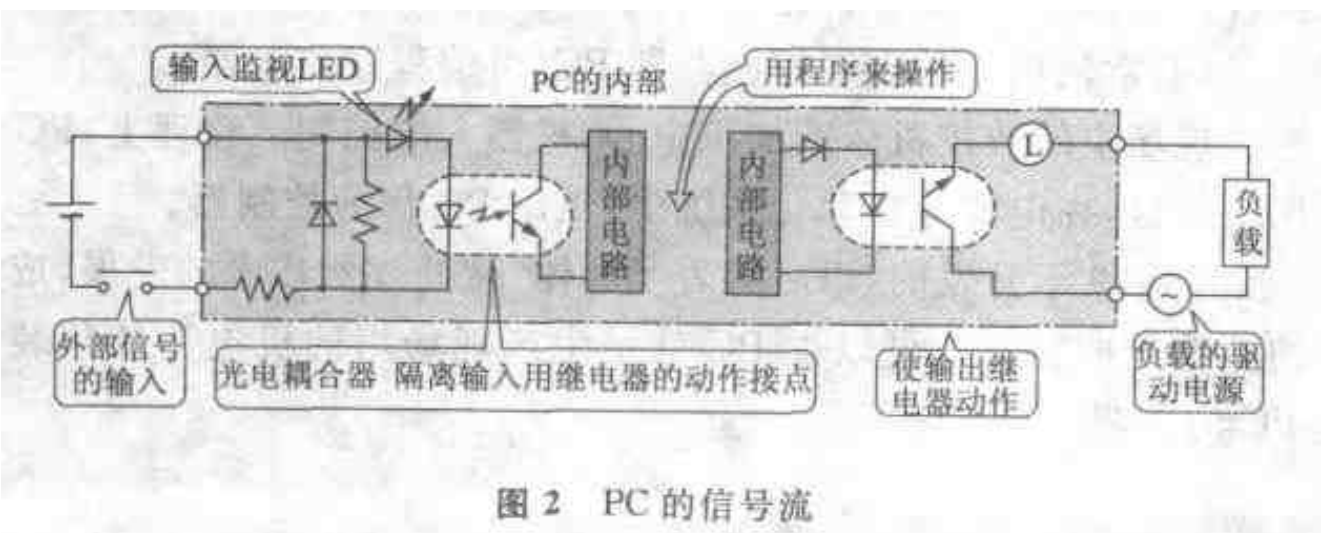


图 2　PC 的信号流

通过这一系列的动作，对执行机构进行控制。

Ⅳ PC的特征

与迄今为止生产的现场常用的有接点继电器控制对照，对有关PC(可编程序控制器)的无接点控制的特征进行探讨。

① **控制功能** PC与有接点继电器的控制不同，只按程序对接在PC本体继电器端子上的输入装置、输出装置进行控制，因此要变更其控制内容时，不必改动接线，只要变更程序就可以改变控制内容。

② **可靠性** PC是由半导体器件所组成的，不存在有接点继电器的接触不良的问题。

③ **维护** PC可以以控制单元为单位进行更换，因此维护方便。

④ **主体结构** PC装置体积小，重量轻，具有极好的环境承受能力。

⑤ **简易性** 与个人计算机程序相比，PC的程序编制要简单一些。

⑥ **保存** 能保存PC的程序，用于其他控制时，只需简单地变更程序，配置外围装置。

⑦ **系统化** 可把任意个PC组成一个系统，并且可用计算机对PC进行集中管理。

⑧ **缩短试验时间** 新安装的或更动的控制装置，都必须试运行，由于调整等很简单，可以缩短试验时间。

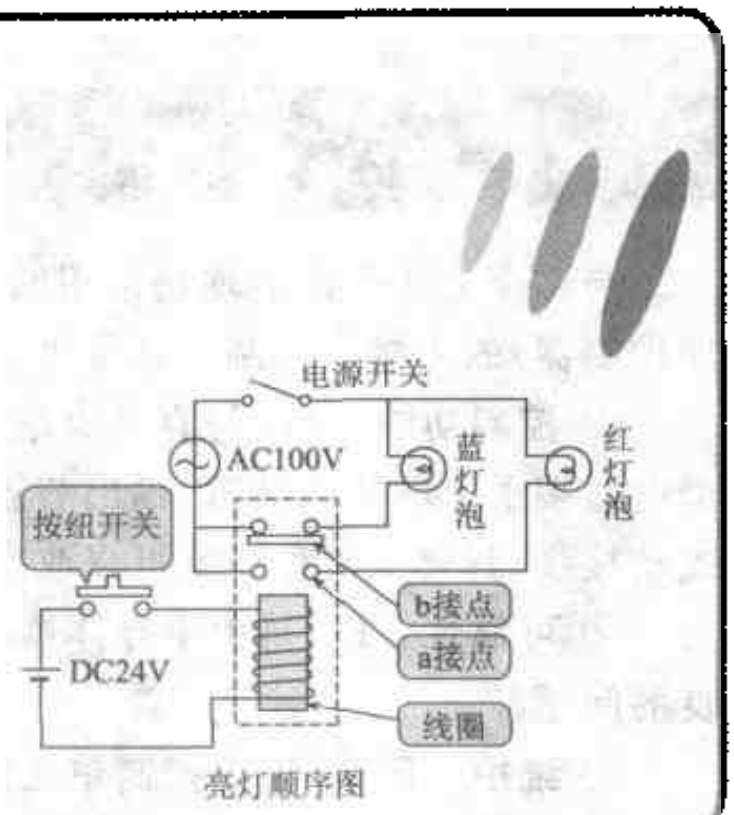
⑨ **重复使用** PC可以重复使用，即使作为控制对象的机械已报废，通过变更程序，仍然可以再将PC本体用于其他的控制机械中。

* * *

PC有上述优点，与黑匣子化的PC软件相比，继电器式有接点的控制，至今已有很丰富的专用技术，有接点控制具有硬件简单、易于理解的优点。

7 PC的编程

可用传统的顺序图来表现继电器或操作开关等硬件，例如右图，电源一接通，蓝色灯泡就亮，按钮一接通，红色灯泡就亮的顺序图等。



亮灯顺序图

Ⅰ PC用的梯形图

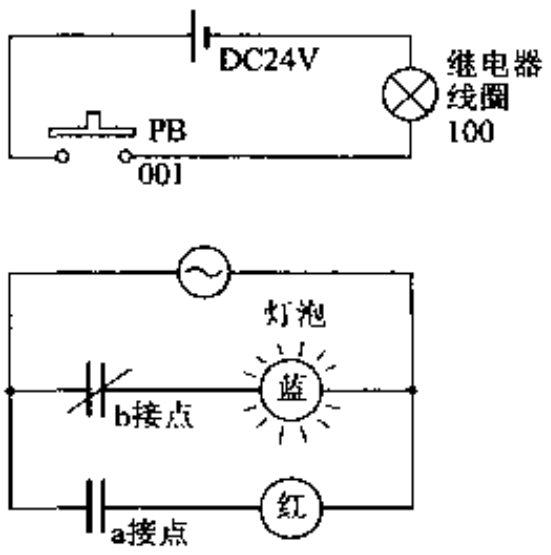


图 1　梯形图

PC 常用的是图 1 所示的控制流，用继电器符号表示的电路图（梯形图，Latter 图），Latter 就是梯子的意思，由于看起来像梯子，所以用这一术语。

为了将控制的内容装入 PC 的存储器中，要用 PC 的指令，这一作业称为编程。也就是说，将顺序图（梯形图）中所画的电路的接点及其连接方法，变换为指令语言，就成为所说的 PC 程序。

Ⅱ PC的指令

基本的 PC 指令由步（地址）、操作码、操作数构成。介绍一个常用的 PC 指令。

［例］　接在母线上的接点（参见图 2）。

LD：a 接点连接到母线的指令

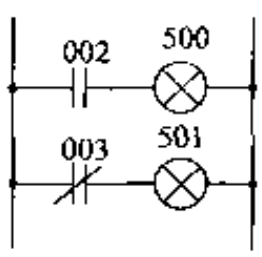
LD NOT：b 接点连接到母线的指令

OUT：驱动线圈的指令

[例] 串联、并联的连接接点(参见图 3)。

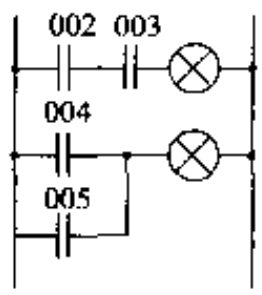
AND：a 接点串联连接的指令

OR：a 接点并联连接的指令



步	指令	数据
1	LD	002
2	OUT	500
3	LD NOT	003
4	OUT	501

图 2



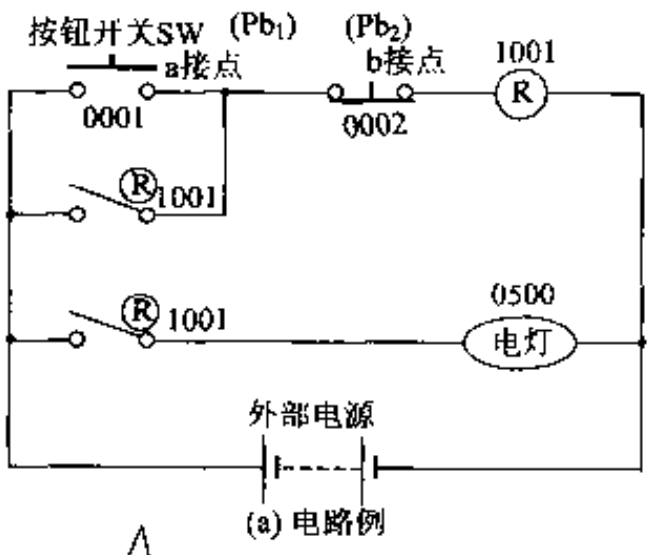
步	指令	数据
1	LD	002
2	AND	003
3	LD	004
4	OR	005

图 3

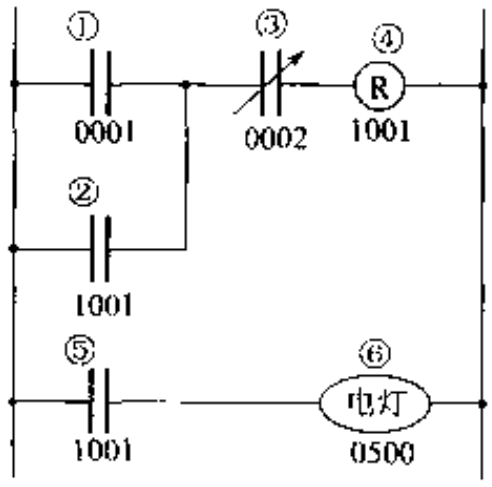
Ⅲ PC 程序举例

图 4(a)是按下按钮开关(Pb_1)时，PC 内部继电器(R)动作，成为亮灯的电路。该程序可使开关状态自保，按下 b 接点的按钮开关(Pb_2)，它的常闭接点就使灯熄灭。

图 4(b)为图(a)所示电路的梯形图。如把灯换成电动机，则该图就是电动机驱动控制图。



(a) 电路例



(b) (a)的梯形图

动作
①按下按钮开关(取得a接点信号0001)
②由1001输出信号，即使输入信号消失，也能自己保持，继续保持输出(灯亮)
③串联连接常闭接点。0002(AND NOT)上一输入信号，则1001的输出信号就停止(灯熄灭)

步	指令	数据
1	LD	0001
2	OR	1001
3	AND NOT	0002
4	OUT	1001
5	LD	1001
6	OUT	0500
7	END	

*输入END指令程序结束。

图 4

Ⅳ　PC 的使用方法

实际使用的 PC 控制程序，按图 5 所示，由分配输入输出装置与 PC 内部的继电器来组成梯形图，用 PC 指令编程，经修正，把程序存入只读存储器(ROM)后即可。

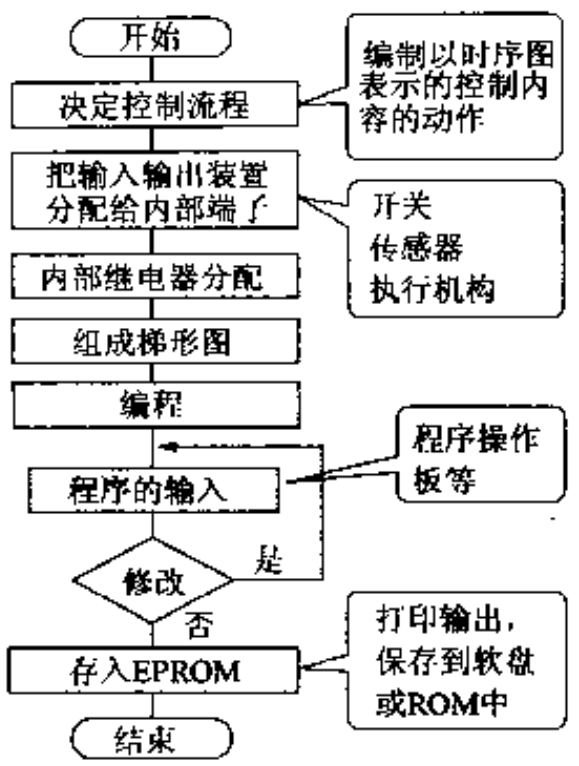


图 5　PC 的控制顺序

Q 挑战题

① 什么是机电一体化，它是由什么名词合成的？
② 产生机电一体化的背景是什么？
③ 什么是微处理器？
④ LSI 是什么的缩写？
⑤ 闭环控制是什么样的控制？
⑥ 列举两个以上使用机电一体化的机械零件。
⑦ 表示齿轮大小的单位是什么？
⑧ 什么是 ISO 螺纹？
⑨ 螺母的预钻孔直径大约是螺钉直径的多少倍？
⑩ 滚珠丝杠有何特征？
⑪ 提供直流电路中 +5V、+12V 等固定电压用的器件叫什么名称？
⑫ 试说明电阻的色环。
⑬ 列举一下晶体管的两种类型。
⑭ 什么是二极管电流的正方向？
⑮ 电容器表示的 104K 是什么意思？
⑯ PC 是什么的缩写？
⑰ 什么是梯形图？
⑱ 什么是 a 接点、b 接点？
⑲ 自保持电路是什么样的电路？

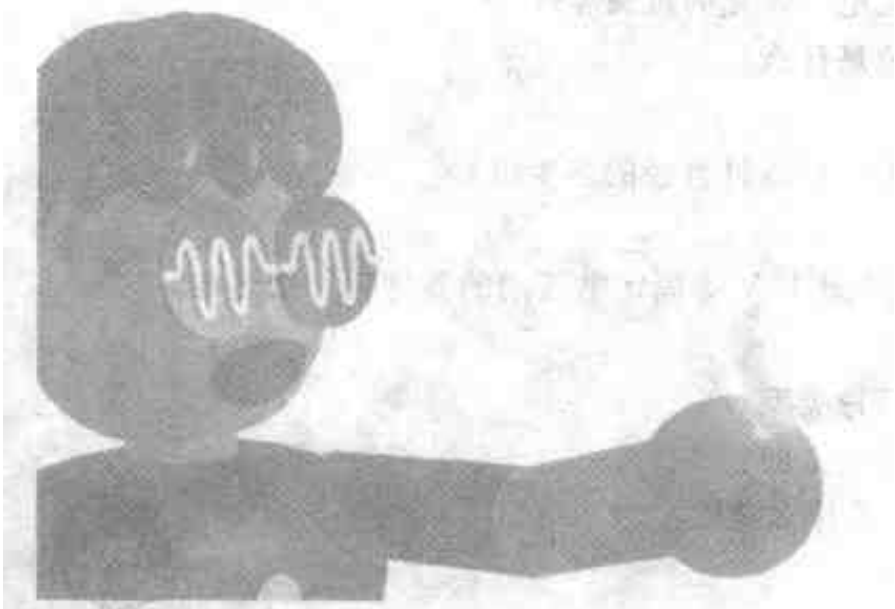


A 答 案

①机械学与电子学。 ②略，参见第 2 节。 ③MPU(超小型运算处理器)。 ④大规模集成电路。 ⑤测量被控制量，将其中一部分反馈与基准值比较并进行修正的控制方式。 ⑥齿轮、螺纹。 ⑦模数。 ⑧国际标准化组织的螺纹标准。 ⑨0.8～0.85 倍。 ⑩通过内螺纹与外螺纹之间的滚珠可平滑地传动。 ⑪三端稳压器。 ⑫略，参见第 5 节。 ⑬NPN 型，PNP 型。 ⑭从正极到负极的方向。 ⑮10×10^4 pF＝0.1μF。 ⑯可编程序控制器。 ⑰略，参见第 7 节。 ⑱a 接点：常闭接点；b 接点：常开接点。 ⑲由输入进入接通状态，并在此后保持接通常态的一种保持记忆的电路。

第2章

传感器的基础知识

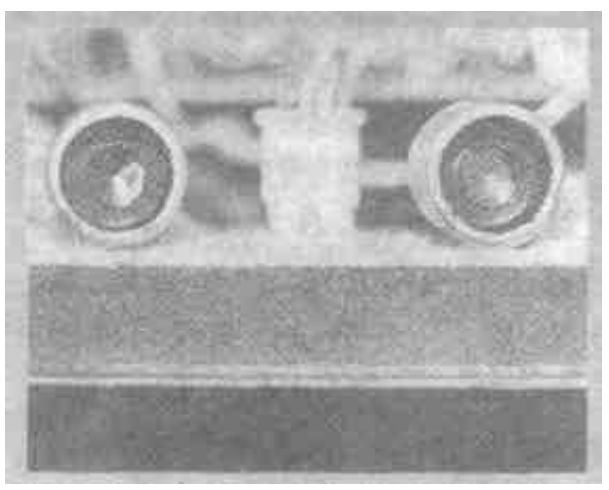


传感器的功能与信息检测、变换

英语“Sense”，作为“人的感受”时，是感觉的意思。另外也有“五官的感觉”的意思，如“闻到焦味”、“吃起来酸呀!”、“感到热”等等。一碰到沸腾着的水壶，就感到烫(信息的搜集=输入)，急忙把手缩回来(缩手行动=输出)，可以说明从得到感觉到行动成为一体。

由此例可知，我们的行动与“五官的感觉”有密切的关联。

人的五官(视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉)是用于搜集日常生活信息的，所以是很重要的器官。



照片P1 传感器

传感器(sensor)是与该词(sense)有关的术语，传感器可代替人的五官，在机电一体化的控制中，作为检测必要的信息并进行变换的装置。

要使机电一体化的执行机构动作也同样，依据明确指令规定动作，尤其必须有“来自传感器的信息”作为指令所需的信息依据。

这一章介绍有关用于机电一体化的传感器。

1 传感器的定义

前面已介绍过传感器相当于人的五官，在机电一体化中，传感器是“检测、变换电子机械起作用所需信息的眼睛”。与传感器类似的词叫“转换器”，是把力或速度之类的物理量转换为易于处理的输出信号的变换器，传感器也有同样的作用。

I 传感器的使用方法

传感器有信息检测与将检测到的信息转换为电气信号两大功能。关于传感器的作用，以图 1 所示的数控车床为例进行说明。

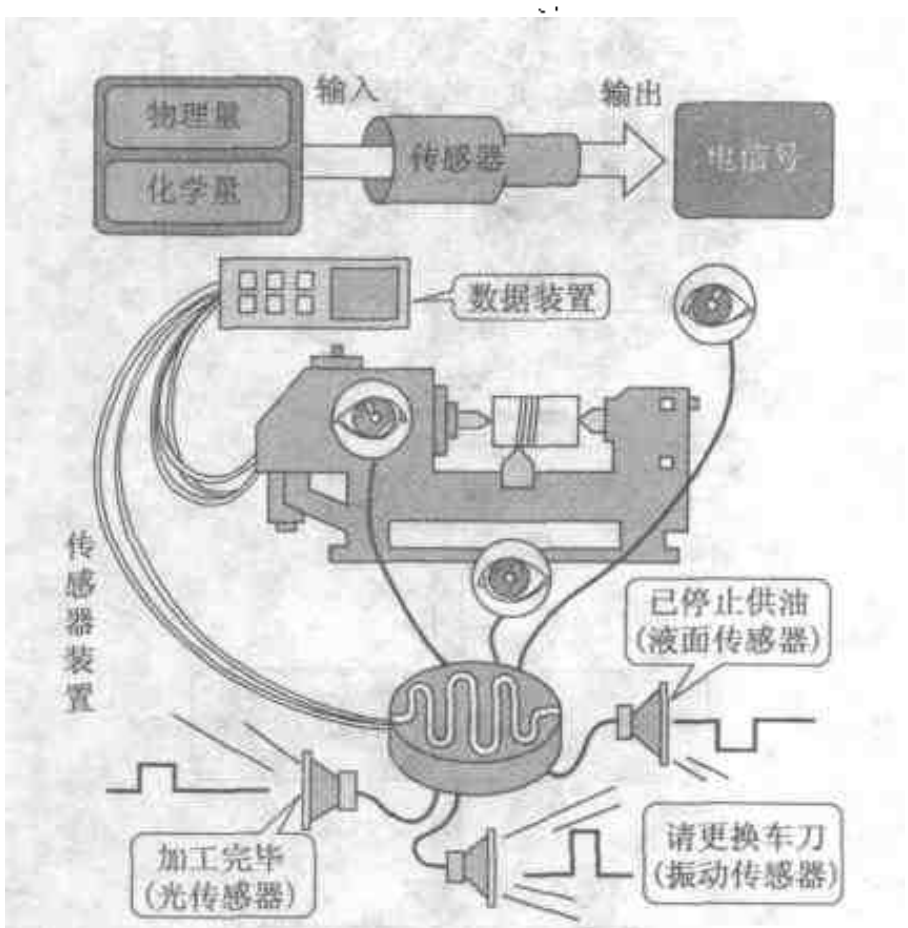


图 1 数控车床的传感器

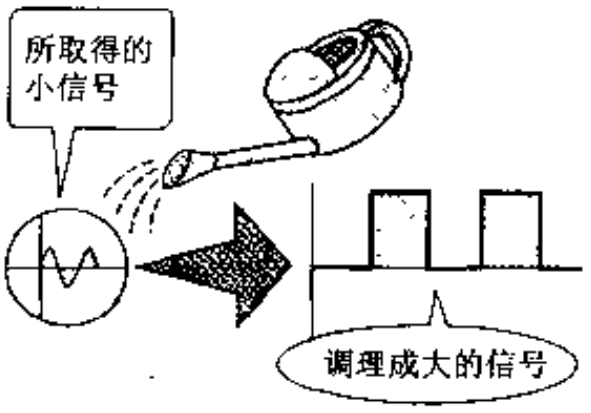


图 2　电信号元

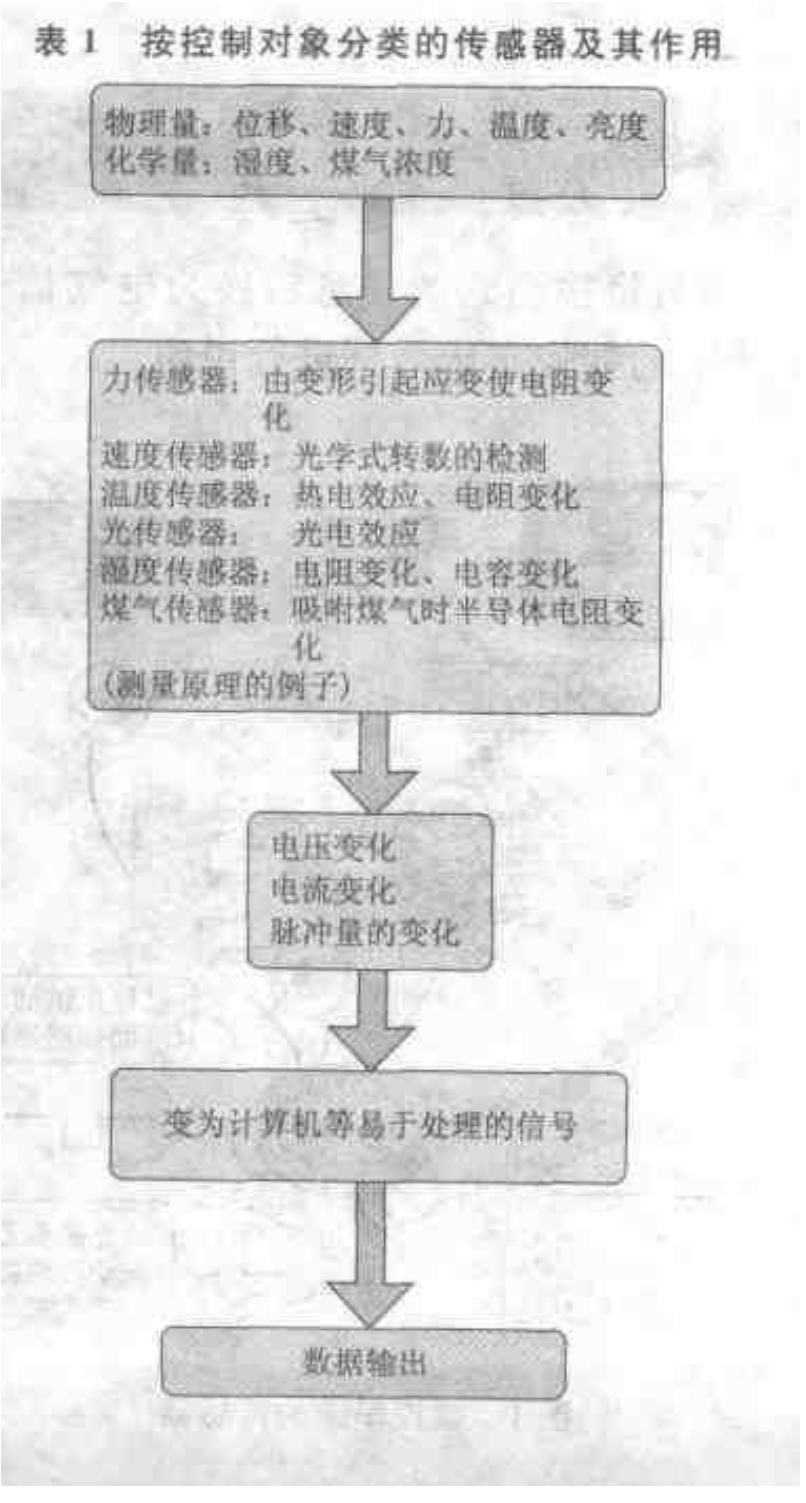
① 工作状态，在检测车刀位置的同时，用光传感器进行监视。

② 刀尖的形状对工作尺寸，表面精度等影响最大，用安装在车刀上的振动传感器检测车刀的磨钝程度，用振动的状态来监视。

③ 车床所用的润滑油，液压系统的油量，是能源的一部分，这种油量通过液面传感器进行监视。

这些传感器的信息，是作为电信号或电信号元(种子)来输出的。这一“电信号元”可用传感器检测出来，若要使它符合控制机械等对象的要求，需如图 2 所示的那样，将“信号元调理成更为合适的形状”。这一处理也称为“信号加工”，属于传感器使用技术的一部分。

表 1　按控制对象分类的传感器及其作用



Ⅱ 按控制对象分类的传感器

传感器的种类繁多，根据其使用的目的，可涉及到许多方面。就常用的来讲，有力、位移、速度、温度、亮度等物理量的传感器，以及煤气浓度等化学量的传感器，其作用如表 1 所示。

Ⅲ 按使用方法分类的传感器

接触式传感器

接触式传感器是固定在被测量的对象上，或借助接触状态来检测的传感器。例如，水电站大坝的混凝土壁上所承受的压力，如图 3 所示，随水位的高度而变化。把坝壁上所承受的压力通过贴在壁上的应变片的变形，变换为电信号进行监视。

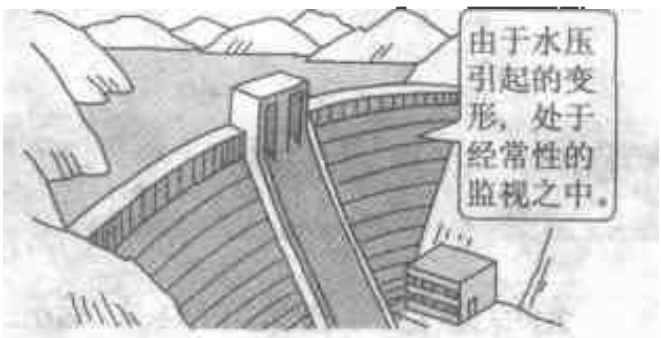


图 3 大坝上承受的压力

接触型传感器的特征为：需承受恶劣的外界环境，可对状态进行直接检测。

非接触式传感器（参见图 4）

如光传感器与温度传感器等，由于与被测量对象没有直接接触，所以有承受环境影响的能力。

要从传感器所获得的信号中取出测量对象的真正数据，是必须下一番功夫的，但由于测量对象不与传感器直接接触，故有不会影响其动作的优点。

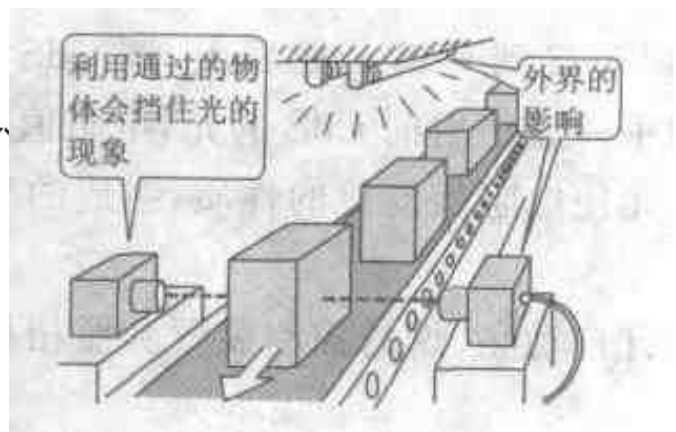
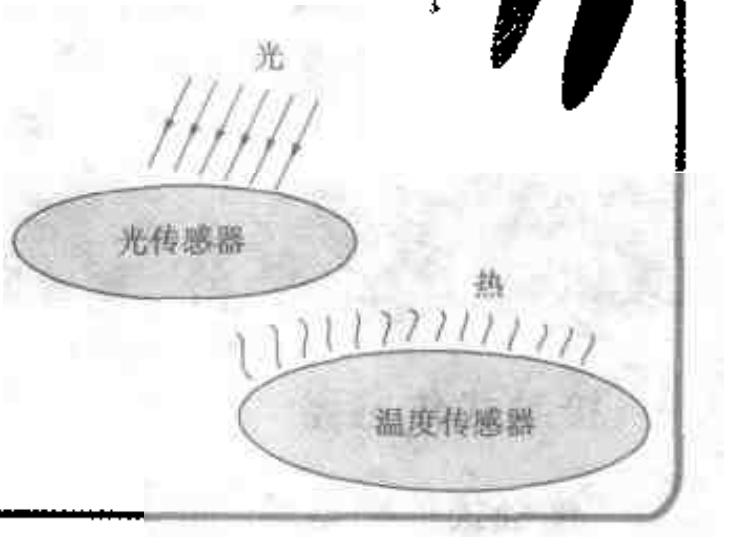


图 4 非接触型传感器（透光型）的例子

2 各种各样的传感器(1)

传感器有很多种，现对其中常用的传感器进行介绍。



I 光传感器

光传感器可将光的有无或亮度等光信息变换为电信号。

硫化镉传感器

CdS(硫化镉)传感器的特征：

① 一般检测动作快；

② 不接触检测对象；

③ 检测时无噪声(噪声是计算机控制中造成误动作的原因)；

④ 检测方便简单；

⑤ 传感器价格低廉。

如图 1 所示，把万用表接到 CdS 传感器上，测 CdS 的电阻时，在明亮的房间里，电阻值非常小，用手一遮住射向 CdS 的光，电阻值就增大了。

图 2 表示利用档住光使电阻值变化的性质，组成的导光型传感器的检测原理。

CdS 元件常用于路灯自动亮、熄的控制装置和照相机自动曝光装置中。

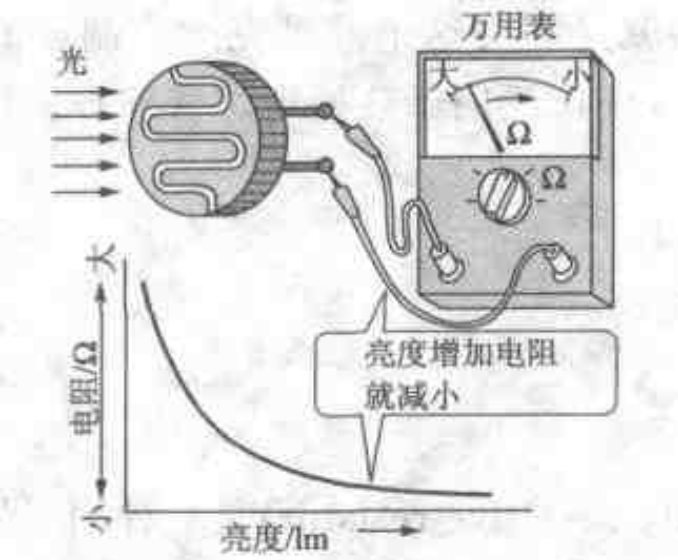


图 1　CdS 等导光型传感器的特征

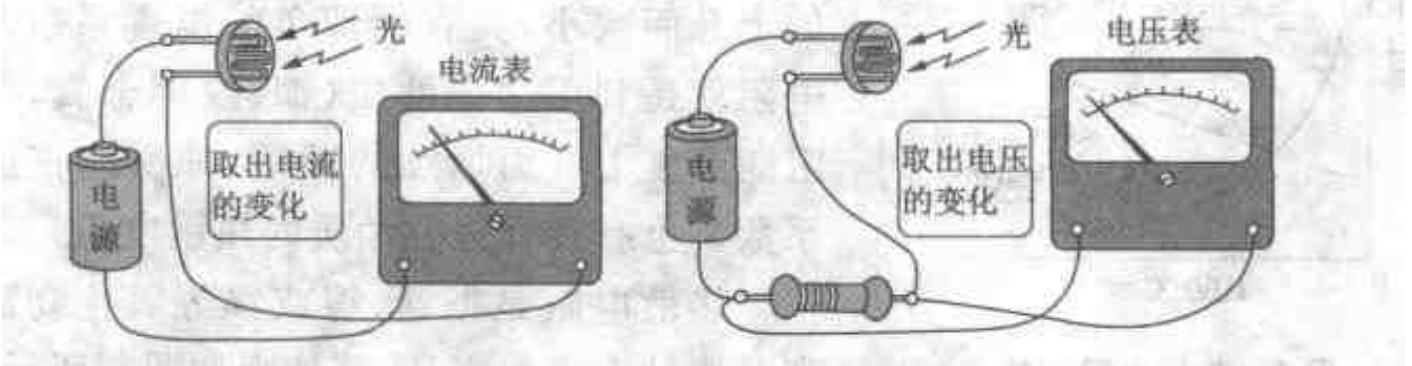


图 2　光传感器的检测原理

Ⅱ　温度传感器

温度传感器在家庭中凡是需要控制温度的设备中，如电冰箱、空调机，电热器具的电暖器、电饭煲等均会用到，是与我们关系最为密切的传感器。

这里介绍常作为温度传感器用的热电偶和双金属温度传感器。

热电偶温度传感器

如图 3 所示，把两种不同金属的两端连接起来，当两端上有温度差时，就产生如图 4 所示的几乎与温差成比例的热电势，这一现象称为塞贝克效应。

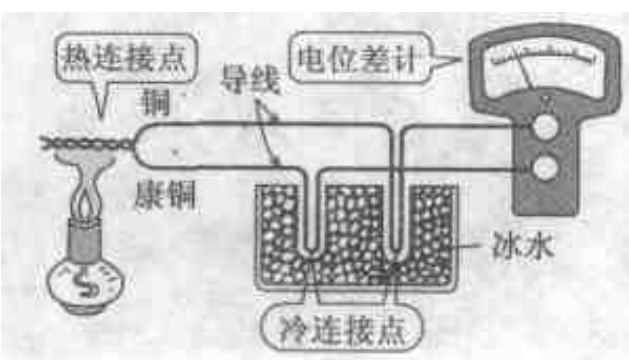


图 3　热电偶温度传感器

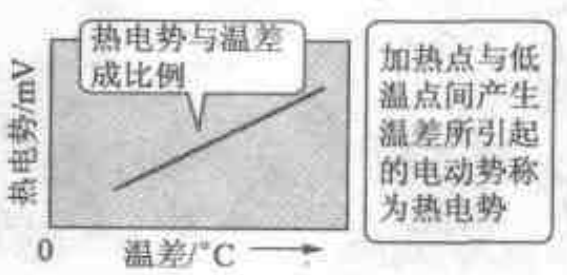


图 4　热电势与温差的关系

热电偶温度传感器就是利用这个塞贝克效应制成的产品。由于热电势数值大而且稳定，所以工业中广泛用于热处理炉管理等。用热电偶可以测量的温度范围如下：

铜-康铜 —200～400℃

铂-铂铑 0～1 600℃

热敏电阻

热敏电阻(thermally sensitive resistor)是一种用半导体的电阻型温度传感器。

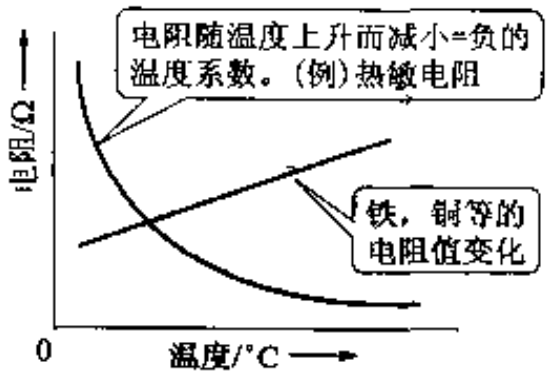


图5 热敏电阻的特性

如图5所示，热敏电阻的电阻值随着温度的上升而减小，具有所谓负的温度系数。热敏电阻就是利用这一性质(铜、铁等金属，具有电阻随温度上升而增加的性质，即所谓正的温度系数。也有具有这种性质的热敏电阻)。

热敏电阻是把锰、镍或镉等氧化物混合经高温烧结而成的产品，其外观如图6所示。如图7所示，在温度变化时，热敏电阻可用万用表测量其随之而变化的电阻值。

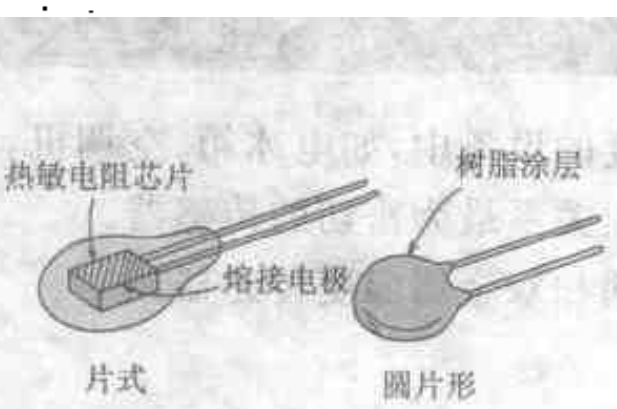


图6 热敏电阻的形状

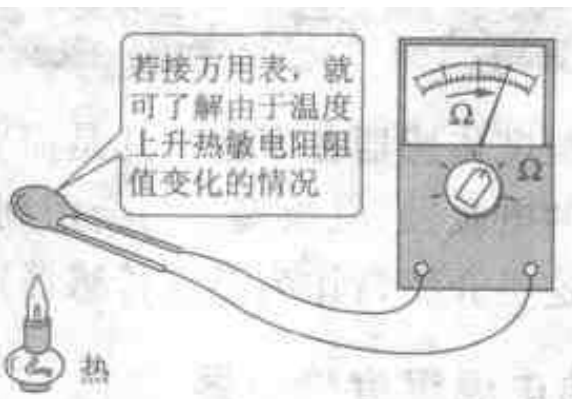
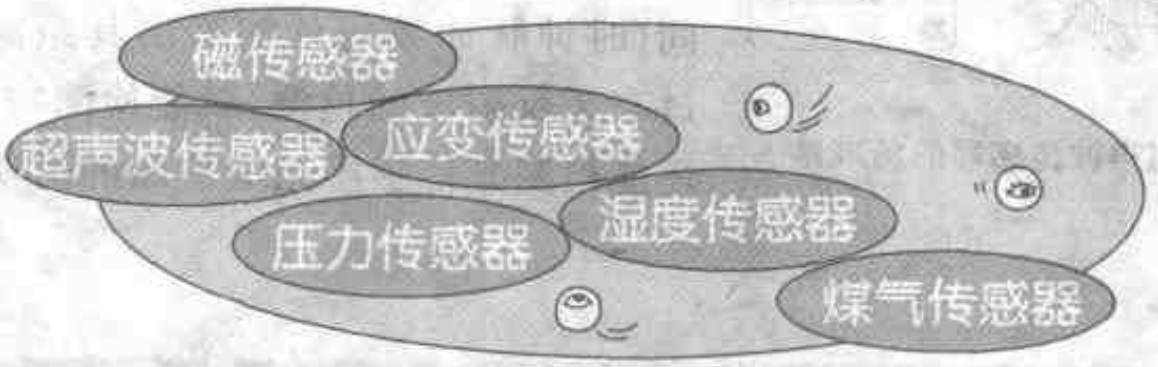


图7

3 各种各样的传感器(2)



Ⅰ 磁传感器

磁传感器是检测磁性的传感器。这种传感器有以下两类：

① 利用磁铁吸铁时的磁吸力作用。例如簧片开关。

② 将由于电流流过电线或线圈形成的磁场变换为电气量的器件。例如霍尔元件。

因为磁传感器能以非接触形式检测，可用于无触点开关、车用发动机等的车速传感器、物体位置检测器等。

图 1 是铁路常用的数字式轨道控制簧片开关的例子。线路上设置簧片开关，当装有磁铁的列车在上面通过时，以簧片开关的开、闭来检测列车通过与否。

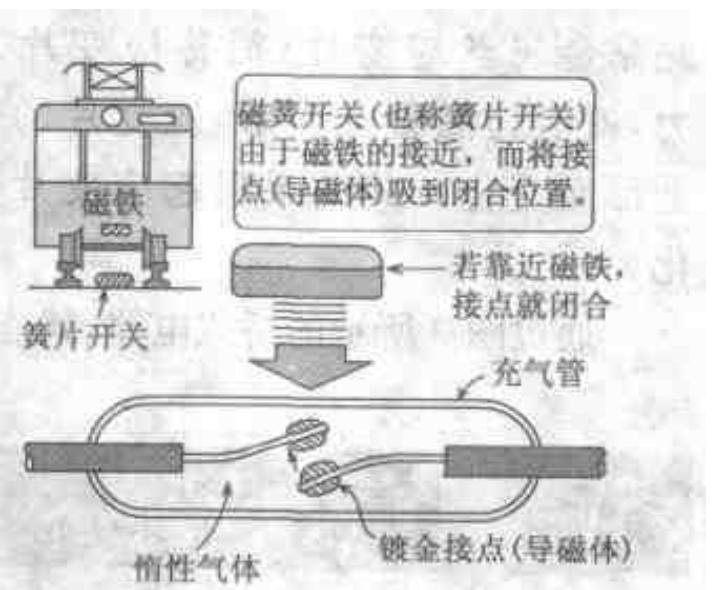


图 1　利用簧片开关

Ⅱ　超声波传感器

超声波传感器是测量离反射体之间的距离的传感器。

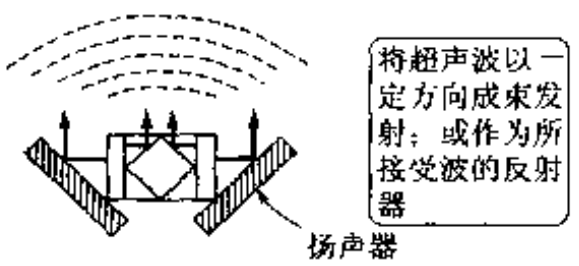


图 2　超声波传感器的扬声器

如图 2 所示，发出超声波的扬声器，把超声波发送器与接收器组合在一起配置。测量从发送器发出超声波到接收反射波为止的时间(时钟脉冲数)，就能算出其距离。并且通过有无反射波的检测，就能检测物体的位置，还能检测光传感器无法检测的透明瓶子的有无。

Ⅲ　应变传感器

为检测由外力引起混凝土等的应变，可用应变传感器。混凝土是由称为骨料的砂与卵石、水泥，加水等拌合制成的，主要用于承受压力的场合。其骨料的比例不同，变形程度有变化，为此必须知道骨料的比例，混凝土能产生什么样的变形(应变)。

现在，在图 3 所示的混凝土压缩试块上黏贴金属丝应变片(简称应变片)，一加上力，就引起混凝土变形，应变片的长度随着变形而变化。其结果引起应变片阻值的变化。

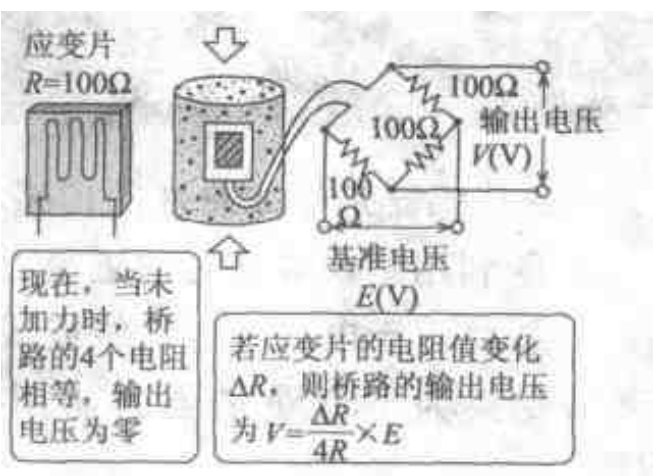


图 3　应变传感器

通过图 3 所示的桥式电路，就能测出由其阻值变化而引起的输出电压的变化。

Ⅳ　压力传感器

图 4 所示的半导体压力传感器，是利用在硅半导体晶体上加上压力造成变形而产生电荷的压阻效应。也就是说，把压力变成电信号。这种传感器的尺寸小、灵敏度高，且能稳定地检测出反复的变形。并且，这种传感器还能用于检测电气吸尘器的吸入压

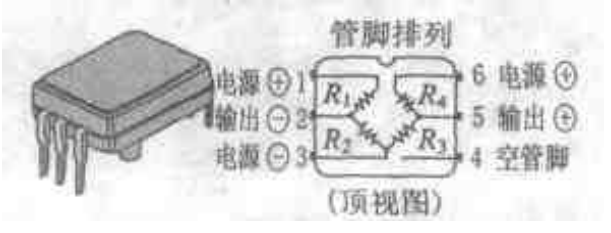


图 4　半导体压力传感器

力。

Ⅴ　湿度传感器

湿度传感器是检测大气中所含水蒸气比例的传感器。此传感器的工作原理是把附在陶瓷片上的水分变化变换为电信号，该陶瓷片就是湿度传感器的检测元件，它常用于空调器，农用大棚等场合的湿度控制，图 5 表示陶瓷型的湿度传感器。

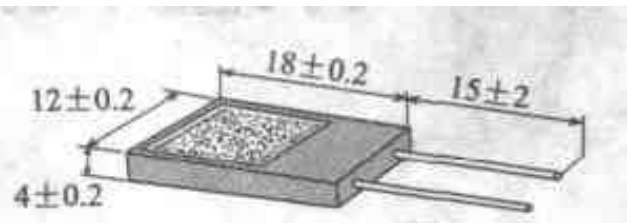


图 5　湿度传感器

Ⅵ　煤气传感器

煤气传感器是检测大气等气体中所含煤气成分浓度的传感器。

家中所用的煤气泄漏报警器用的也是煤气传感器。若用电吹风把煤气吹入煤气泄漏报警器，报警器就会发出“蜂鸣声”，报警煤气泄漏。

图 6 表示出于煤气分子吹到了煤气传感器的半导体上，从而引起了电阻变化，这就是煤气传感器的测量原理。



图 6　煤气传感器的测量原理

4 来自传感器的输入信号



已介绍过各种传感器的种类与检测原理、特性、用途等。

这里探讨一下来自传感器的检测数据是以怎样的形式输入计算机的。



Ⅰ 数字量输入

例如，如图 1 所示，来自按下按钮开关的信号，可直接得到“ON(通)＝1”，“OFF(断)＝0”的数字量信号。得到这种数字量信号的传感器，有检测机床工作台位置用的限位开关与磁性传感器的簧片开关等。

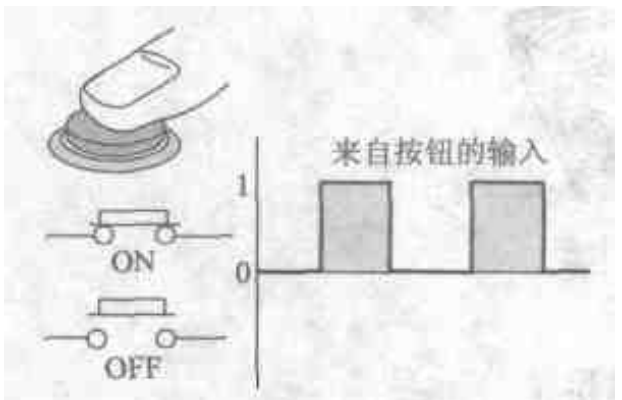


图 1　按钮开关

这样的数字量，其本身就可以用计算机处理，但实际上，来自外部的噪声之类会混入输入数据中，多数情况下，达不到计算机处理中所必要的电信号电平，因此要对此采取必要的措施。

Ⅰ　模拟量的输入(A/D转换)

现在来考察--下路灯的自动控制开关，这种自控开关，根据光传感器检测到的亮度，输出通、断值的信号，就可达到控制目的。

为此，如图2所示，只要通过检测光强弱的水平来操作亮灯、熄灯的较简单方法，即可把信号传给计算机。

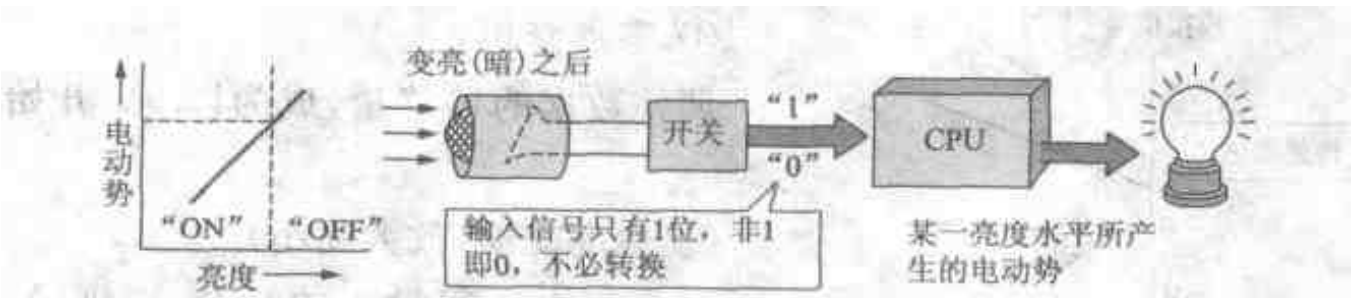


图2　模拟量的二值输入

但是通常亮度、温度之类的量是连续变化的数据(这样的数据称为模拟量)。若要把对应其亮度或温度水平的数据，作为计算机能处理的量，则必须如图3所示，把对应于模拟量大小(强弱等)的量变换为计算机能处理的数字量。

这种把模拟量变换为数字量的过程称为A/D(模/数)转换。通常，来自传感器的输入电信号，要通过图3所示的放大器，放大为0～5V的范围，再输入A/D(模/数)转换器。4位A/D转换器可输出16种，8位A/D转换器可输出256种二进制数字量信号数据。

也就是说，要使传感器检测的亮度或温度等信号转换为二进制数字信号来输入计算机。

图3所示为与亮度相对应的A/D

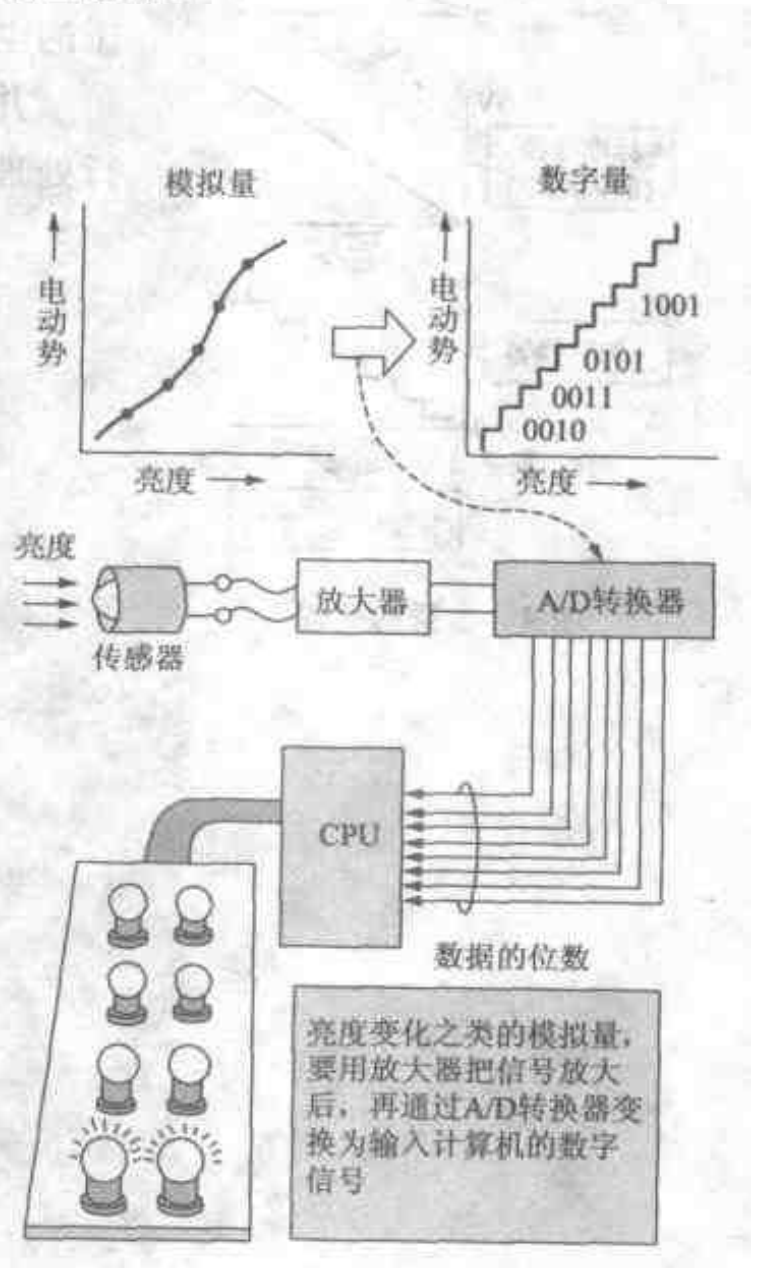


图3　A/D转换

信号转换的例子，由 8 位数字信号显示两个灯亮熄的状态。

Ⅲ　数据的处理

A/D 转换是一种如图 4 所示的数据处理过程，

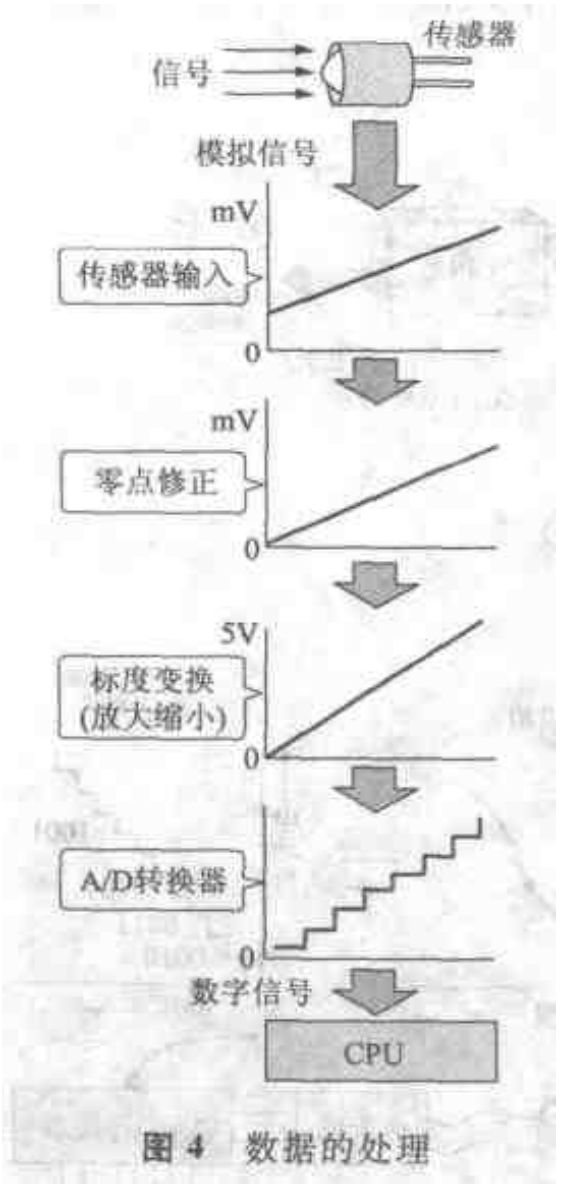


图 4　数据的处理

当需要把输入到转换器中电压的大小调整到某一范围时必须进行这样的转换。

① 零点修正

调整数据的偏移量，成为以 0V 开始的信号。

② 标度变换(放大缩小)

在模拟电压很微小的场合，要把 A/D 转换器的输入电压放大调整为 0～5V 大小可分压的电压。

并且，检测数据中有噪声窜入时，必须进行处理，把它滤去。

5 数字量的输入

I 从传感器向计算机的输入

前面已介绍过了关于位移传感器、磁性传感器、温度传感器、光传感器等各种各样的传感器。这里探讨一下，如图 1 所示，这些传感器所得到的信息（检测的结果），如何与计算机连接（输入）。也就是说，在计算机控制中使用传感器的方法。这里所介绍的只不过是其中一个例子，大家在自己实现控制的过程中，一定要用心调整传感器的输入。

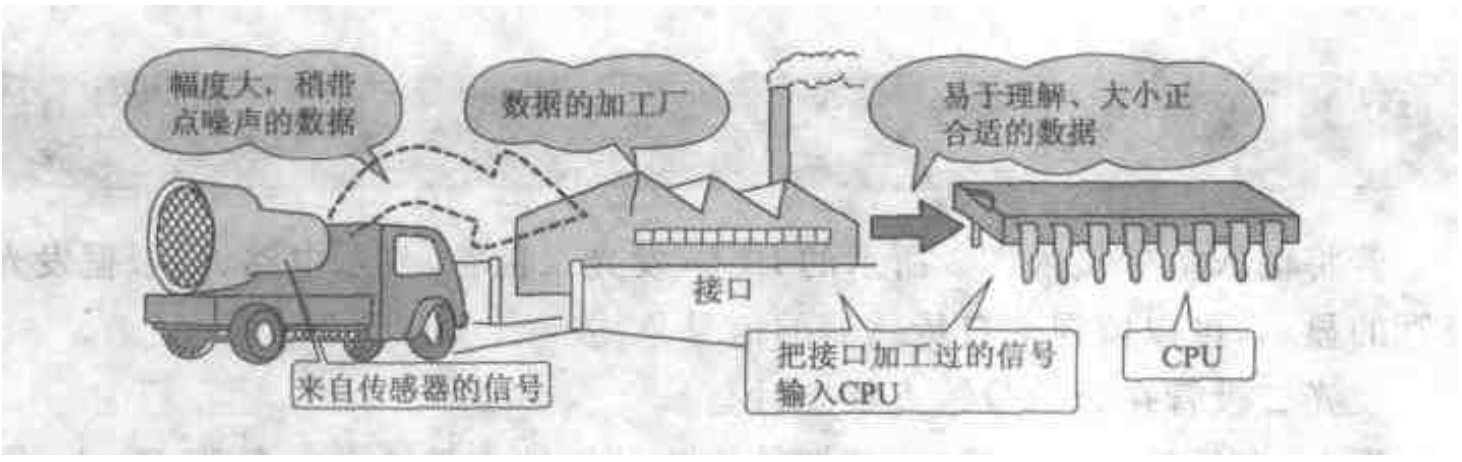


图 1 来自传感器的输入信号的传输

从传感器向计算机的输入，必须用图 1 所示的接口（能很方便地实现计算机信号与输出设备信号的交换所用的装置）。此接口中，有信号输入、输出口，其输入口就是用于输入来自传感器信息的。

Ⅱ　开关的输入数据

按下按钮开关或乒乓开关，输出的通、断状态就是开关的输入数据，即开关量。

控制的输入，最多的就是按下按钮或通过手柄位置切换等所检测到的开关通、断状态。从这一意义上来讲，开关也可以包括在传感器的类别中。

图 2 表示乒乓开关的输入电路。图中，在开关接通时，计算机输入为[0(V)="0"]，开关断开时，计算机中输入为[5(V)="1"]。

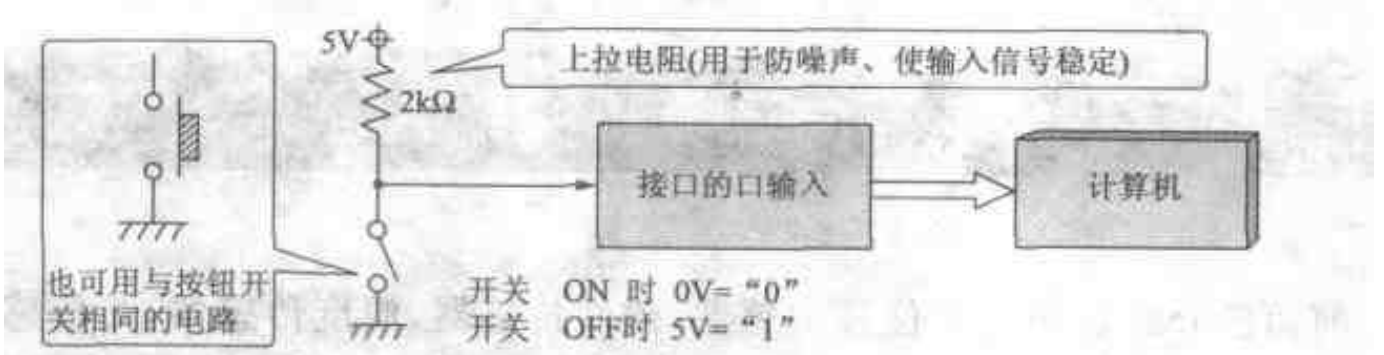


图 2　乒乓开关的输入电路

电路中连接的电阻称为上拉电阻，可防止无输入时噪声等引起的错误输入。

Ⅲ　输入信号的监视

若将输入信号接入图 3 所示的 LED(发光二极管)显示电路，则根据发光二极管的显示，可以监视来自传感器的信号。

发光二极管在无信号输入状态时亮。

现在，在乒乓开关接通时，若把输入钩针连接在第 2 位的管脚 D_1 上，则由电路可知，第 2 位的输入信号为"0"，因此，第 2 位的发光二极管熄灭，就可确认其输入为"0"。

通过这样连接到任意位上，发光二极管的显示状态就产生变化，因此开关(传感器)的状态，就可以通过发光二极管的显示而得到确认。

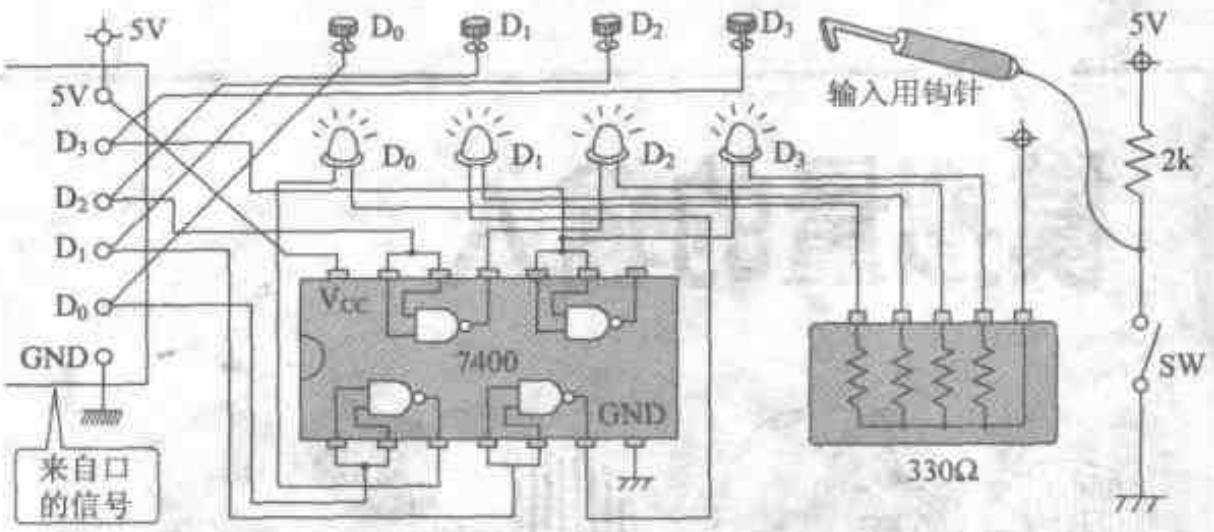


图 3　用发光二极管的输入信号监视

5.1.2 输入电路

现在把开关输入电路分成四路，接入发光二极管的监视电路中，把对应于某一时刻开关的通断状态的信号，接入插口中，并输入到计算机中。

例如，第 0 位和第 2 位开关接通时，发光二极管的状态如表 1 所示。因此，如图 3 所示的 4 位电路，以各种不同的开关(传感器)信息，可得到表 2 所示的 16 种组合，其值可作为来自传感器的检测数据输入计算机。

可把这些数据作为目标控制的基础。

表 1　4 位的输入数据

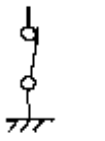
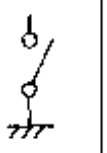
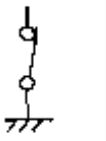
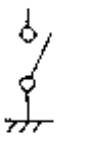
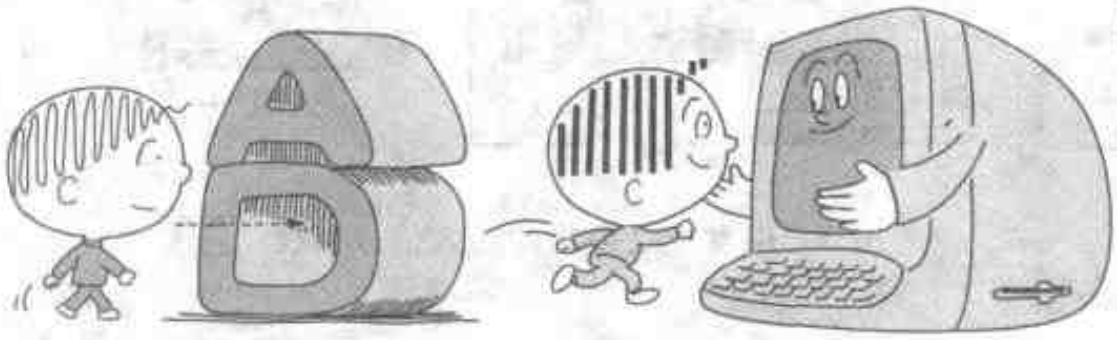
位号	第0位	第1位	第2位	第3位
开关状态				
信号	"0"	"1"	"0"	"1"
发光二极管的显示				

表 2　4 位数据

位号	0	1	2	3
LED ○ 灯 ● 亮	○	○	○	○
	○	○	○	●
	○	○	●	○
	○	○	●	●
	○	●	○	○
	○	●	○	●
	○	●	●	○
	○	●	●	●
	●	○	○	○
	●	○	○	●
	●	○	●	○
	●	○	●	●
	●	●	○	○
	●	●	○	●
	●	●	●	○
	●	●	●	●

6 模拟量的输入



Ⅰ 从传感器取得模拟量

要将模拟量输入计算机，必须将模拟量转换为数字量即实际上，来自传感器的信息不是直接输入到计算机的，如图 1 所示，要通过 A/D 转换器进行上述的模/数转换。

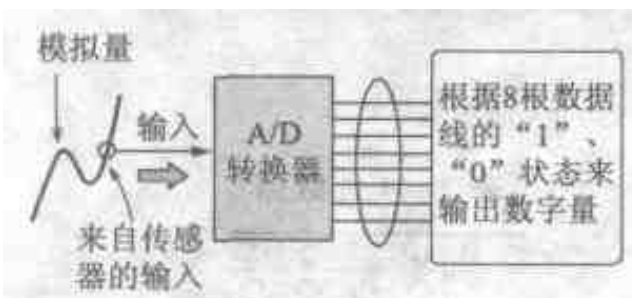


图 1　A/D 转换器的组成

也就是说，只要考虑模拟量怎样从传感器进入 A/D 转换器就可以了。

Ⅱ A/D 转换器(ADC0809)的定义

以 A/D 转换器中常用的 ADC0809 为例，其组成如图 2 所示。

图 2 是把热敏电阻的模拟量作为从 IN0 等管脚的输入，把基准电压上限 5V、下限 0V 之间分为 256 等分作为数字量数据，输入到计算机的输入电路的例子。施加在 IN0～IN7 这几个管脚上的电压变化状态，就相当于来自传感器的模拟量。

IN0~IN7	可进行8通道的模拟量输入
ADD A ADD B ADD C	上述的IN0~IN7的选择，给出所选通道的二进制数
START	若给出“0”~“1”~“0”的信号，就开始转换
EOC	以0~5V范围的数据，作为计算机的输入数据
CLOCK	提供时钟脉冲
REF(+)	基准电压
REF(–)	给出来自传感器的输入电压的上限与下限
DATA0~7	数字量信号的输出

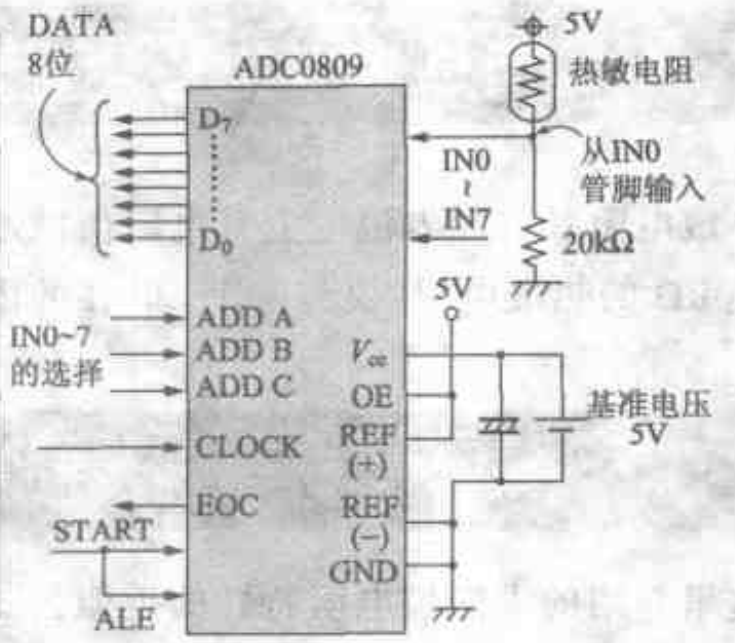


图 2 A/D转换器(ADC0809)

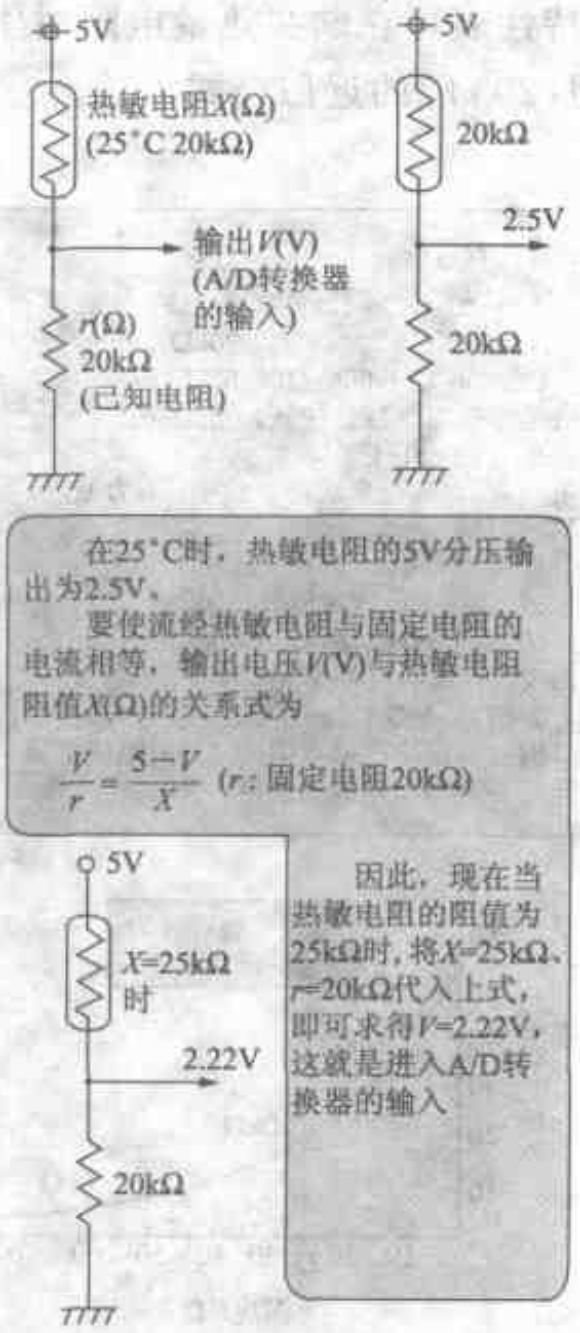


图 3 用热敏电阻检测温度的电路连接

Ⅲ　用热敏电阻检测温度的电路连接

热敏电阻具有随着温度上升电阻值减小的性质，因此如图 3 所示，在 25℃时为 20kΩ 的热敏电阻，要与一个 20kΩ 的固定电阻相串联。

Ⅳ　求传感器特性的校正近似公式

这里介绍的求热敏电阻特性的近似公式，对其他的传感器，也同样适用。

如图 4 所示，热敏电阻阻值与温度的关系肯定不是线性的，因此，要用热敏电阻的阻值与温度的特性表，画出阻值温度特性曲线，求得与此曲线近似的公式，再求出实际的温度。特性表可在购买热敏电阻时索取。

图 4 给出了热敏电阻(203T)的近似公式求法。

由特性表可得：

A点 10°C 36.12kΩ取 36kΩ
B点 25°C 20kΩ
C点 60°C 6.006kΩ取 6kΩ

通过这三点的特性曲线，可用在式

$H=a/(X+b)+C$

中代入a、b、c来求得。式中，H为温度；X为阻值。

10°C时 $10=a/(36+b)+c$ ①
25°C时 $25=a/(20+b)+c$ ②
60°C时 $60=a/(6+b)+c$ ③

由式①，②，③可解出：

$a=613$，$b=3.4$，$c=-5.6$

因此，根据热敏电阻(203T)的阻值，就能求得该阻值相应的温度

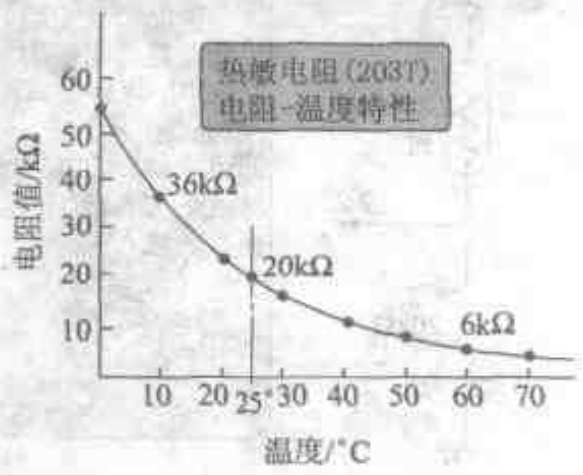
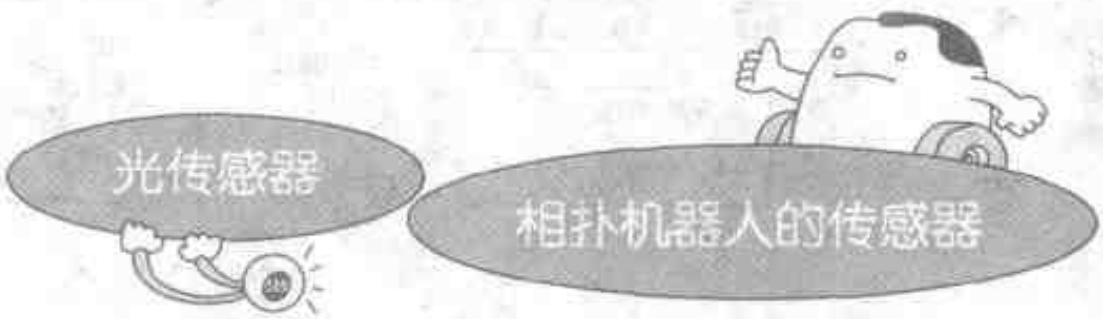


图 4　近似公式的求法

7 传感器输入实践



1 转换模拟量的开关

举例介绍通过光传感器来对模拟量的某一变化值进行通、断操作的用法。

硫化镉传感器的阻值随光通量(亮度)而变化。在如图 1 所示的电路中,将这一变化与变阻器(V_R)组合,加到晶体管上作为控制电压,就可以将晶体管作为开关使用。

把这一电压作为控制信号的开关量,输入计算机的话,就能通过亮度的变化实现开关输入。其开关状态,可根据发光二极管 LED 的亮、熄得到确认。

现在来研究一下图 1(a)电路中,关于硫化镉 CdS 传感器的受光状态引起的动作。假定变阻器的阻值为 50kΩ,根据下式可求出 A 点的电压:

$$V_A = V_{cc} \times R_x / (R + R_x)$$

则 A 点的电压:

亮时　　0.28V

暗时　　4.6V

因此,暗时(光被遮住)加在基极上的电压增大,晶体管导通,发光二极管 LED 亮,同时从输出管脚 B 输出"1"(当 B 点电压为 0V 时,定义为"1")。

图 1(b)为受光时硫化镉 CdS 传感器起作用而输出"1"的电路。此电路中,受光时 CdS 阻值减小,基极电压增大,点 B 的电压为 0V,即输出为"1"。

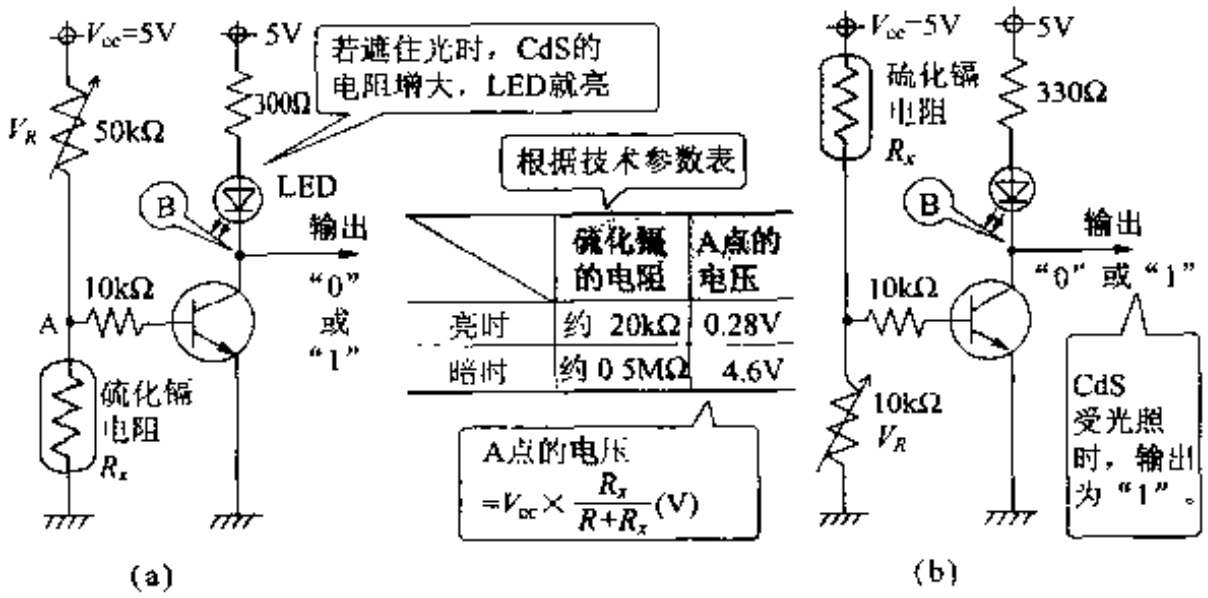


图 1　根据光通量组成通、断电路的例子

2　相扑机器人的传感器

"制作相扑机器人"是最近学习机电一体化非常适合的入门途径，越来越引起大家的重视(参见第 9 章)。机器人相扑的要点之一就是在检测到赛场的边线白线之后，要让驱动电动机反转，使机器人退回。我们来介绍一下白线的检测传感器。

赛场边线(白线)检测传感器

相扑机器人的总体状态与大小均受到限制，因此对其结构零件也力求紧凑。这里选用的是欧姆龙公司的反光型传感器(型号 EE-SF5B)。如图 2 所示，这种传感器因尺寸小，可用黏接剂或简单的安装件装在相扑机器人上。

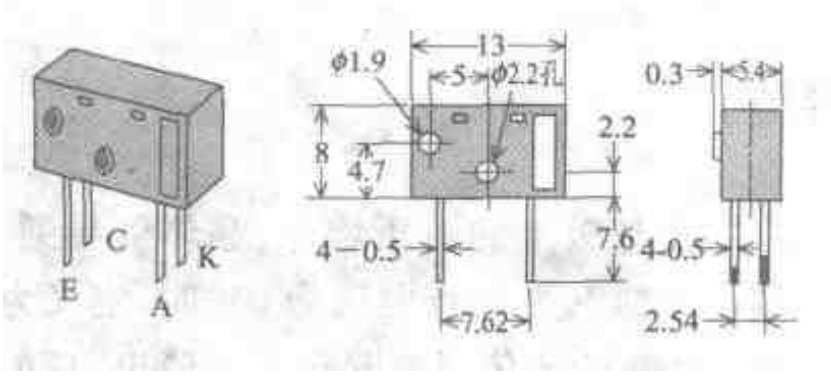


图 2　EE-SF5B 外形尺寸与管脚排列

动作原理

如图 3 所示，用红外发光二极管作为光源，赛场白线的反射光照到光导晶体管上，就使开关动作。根据制造厂的样本可知：

检测距离　5mm 内可检测反射率
为 90%的白色类物体

这种反光型传感器是大小与性能最合适的传感器之一。

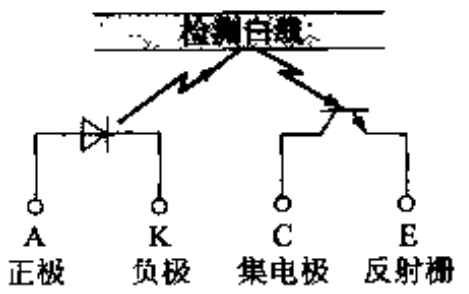


图 3　白线的检测

图 4 所示为相扑机器人的赛场白线检测电路的例子。用 30kΩ 的可变电阻来调整对赛场白线的敏感度。来自这些传感器的输入信号，通过 8255 接口输入计算机。由这一信号可控制左右电动机的正、反转。输入电路中串入两个反相器，目的是为了稳定来自传感器的输入信号。

传感器电路中，如此例所示的，通过电路处理，使输入信号稳定，并加强抗干扰能力，也是很重要的技术之一。

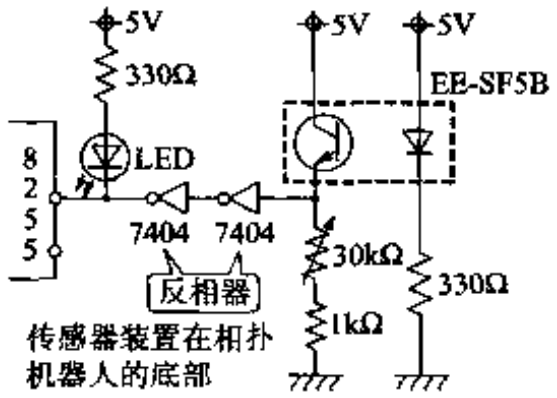
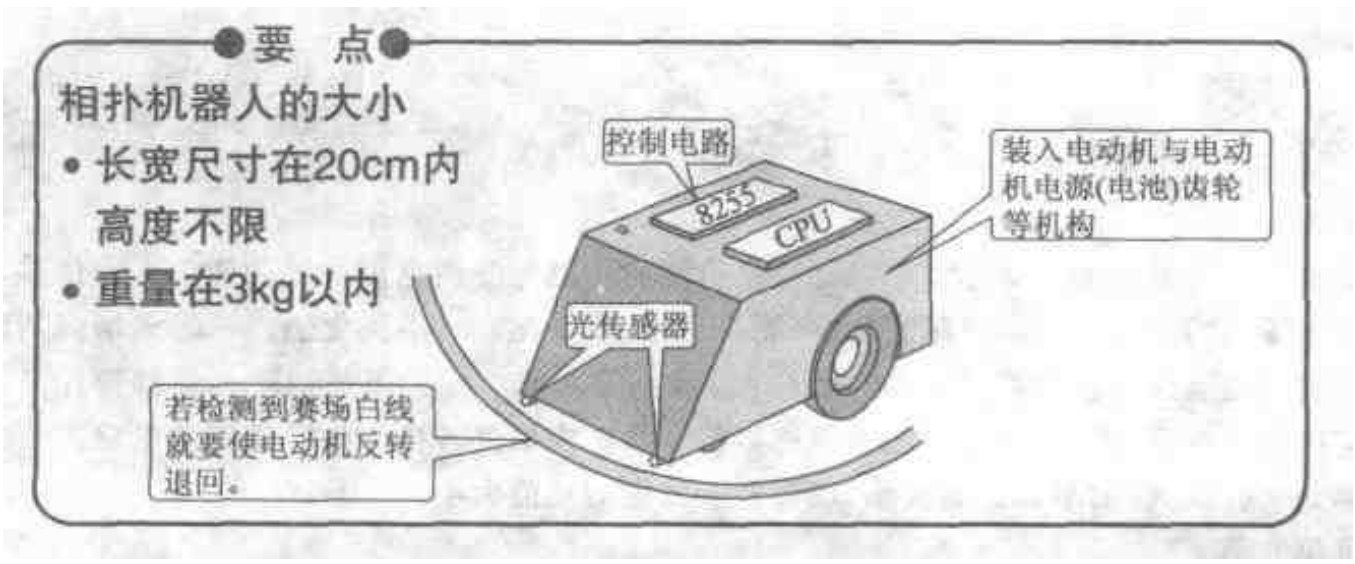


图 4　赛场白线检测电路



Q 考试大纲

① 传感器有什么类似名词?
② 列举相当于人的器官的传感器。
③ 传感器的两大功能是什么?
④ 列举传感器检测的物理量。
⑤ 列举传感器检测的化学量。
⑥ 列举把传感器信号变化为电信号功能的例子。
⑦ CdS 是什么东西?
⑧ CdS 受到光照后电阻值会有什么变化?
⑨ 列举两种温度传感器。
⑩ 热电偶以什么原理检测温度?
⑪ 当温度上升时,热敏电阻的阻值会有什么变化?
⑫ 受磁场影响时,接点会通断的开关称为什么?
⑬ 应变片是用来测量什么的?
⑭ 利用压阻效应的传感器叫什么?
⑮ A/D 转换电路是用来干什么的?
⑯ A/D 转换过程中,零点修正是何意?
⑰ A/D 转换过程中,标度变换是何意?
⑱ 8 位 A/D 转换器可转换多少种相应的数据?
⑲ 叙述一下热敏电阻的温度检测电路组成。
⑳ 传感器的修正近似公式有何必要?

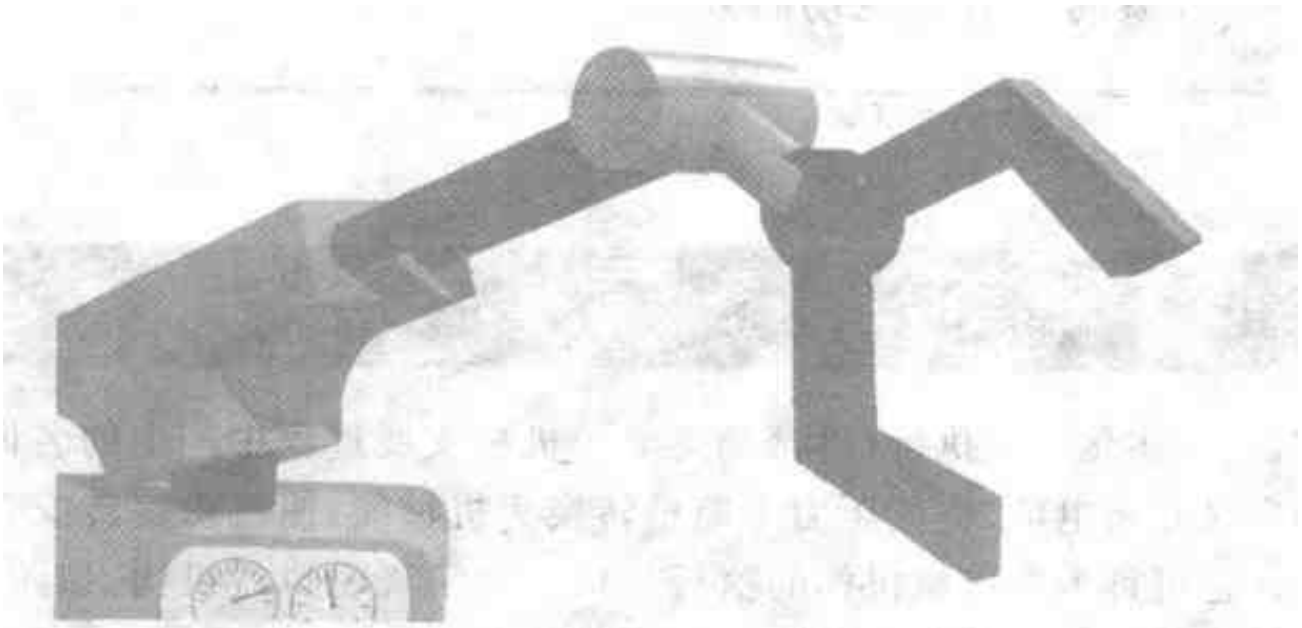


A 答　案

①转换器。　②参见第 2 章扉页。　③信息检测的功能与变换电信号的功能。　④位移、速度、力。　⑤煤气的浓度。　⑥电压变化、电流变化、频率变化。　⑦硫化镉。　⑧光增强则阻值减小。　⑨热电偶温度传感器、热敏电阻。　⑩参见第 2 节。　⑪阻值减小。　⑫簧片开关。　⑬力等物体的变形(应变)。　⑭压力传感器。　⑮把模拟量转换为数字量用的电路。　⑯使数据偏移。　⑰放大、缩小数据的大小,成为易于处理的幅值大小。　⑱256 种。　⑲参见第 6 节。　⑳参见第 6 节。

第3章

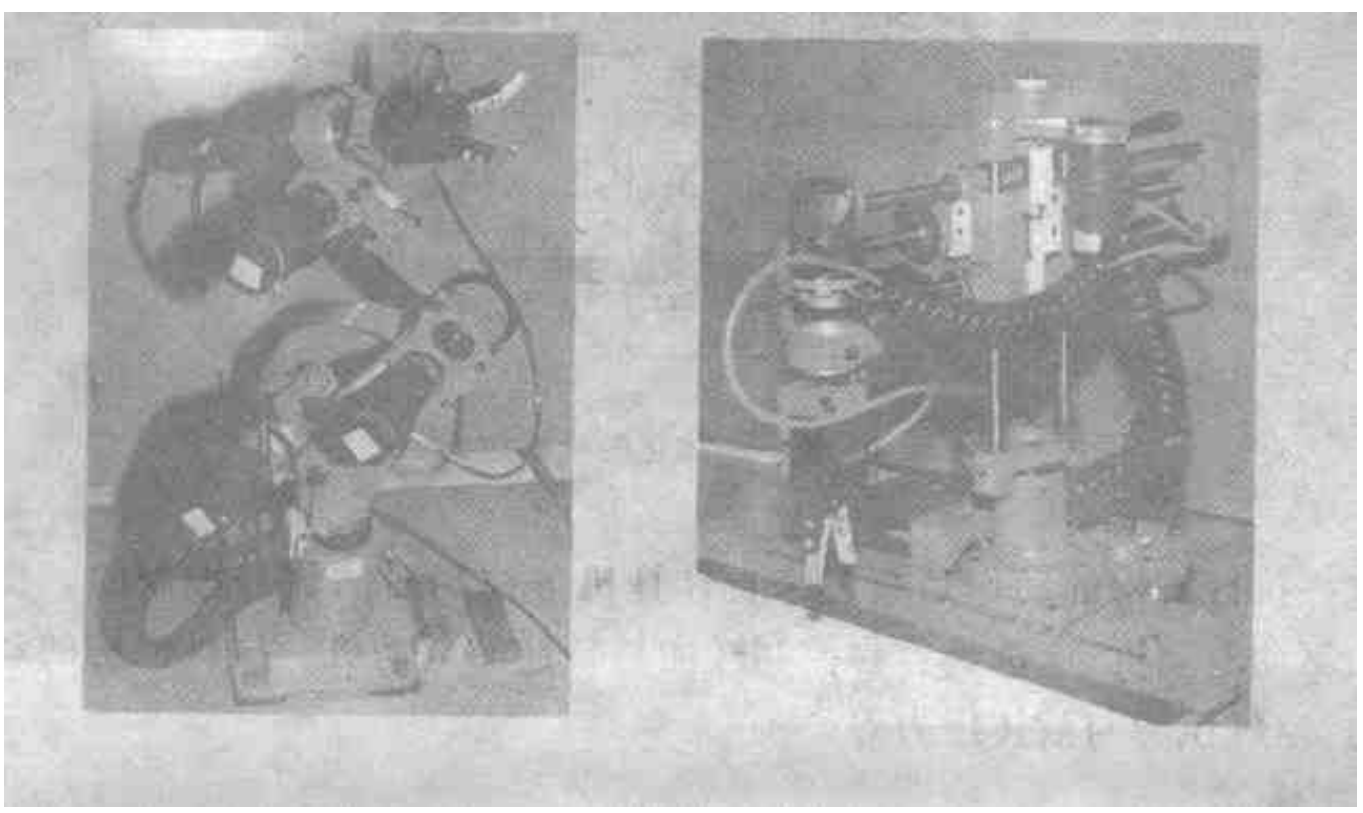
执行机构的基础知识



执行机构的组合与机器人

在机电一体化中将执行机构组合起来就是机器人。经观察分析可知机器人的基本构造部件是电动机械和油缸等执行机构组成的，是由一个一个动作部件构成的。

换言之，机器人也可以称为执行机构的组合体。这里，可以通过观察机器人的动态照片来加深对执行机构的理解。



1 执行机构的作用

执行机构是将能量转换为机械能，使机构作旋转、直线运动的装置。

1 执行机构的定义

“机电一体化”或“执行机构”都是电子机械发展过程中产生的名词。执行机构的定义是将电能、空气压力等能量转换为机械能，使机构旋转或直线运动的装置。也可称为含机械机构的执行机构。为了说明执行机构，如图 1 所示，现在来考察一下应用机电一体化的机械的构成。

图 1 所示为传送皮带上的物体移动的状态，可通过传感器来识别，然后用计算机对此状态进行控制。驱动这一机械系统（传送皮带）的电动机，就是执行机构。

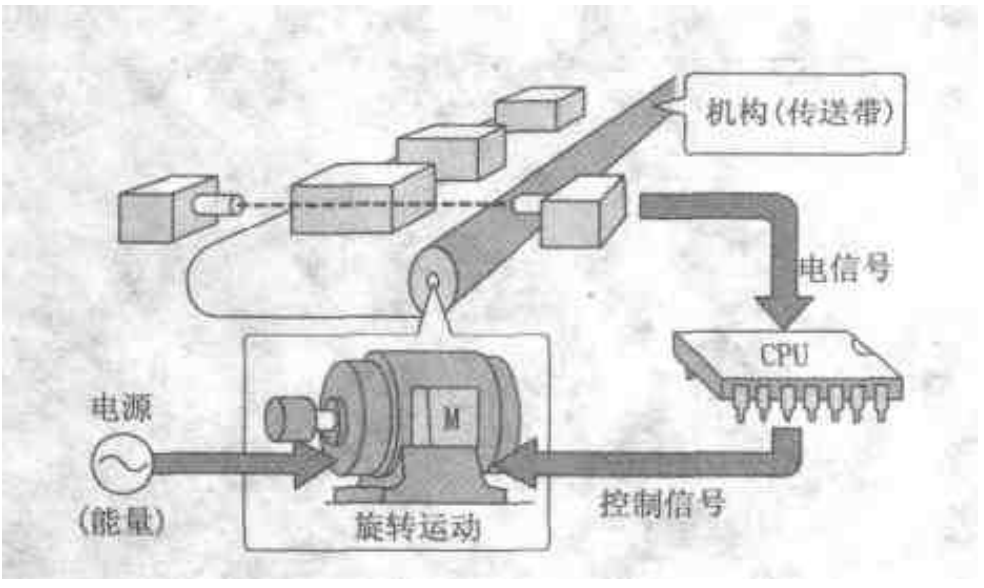


图 1　机电一体化的机械构成

这一执行机构的动作是通过来自计算机等控制器的信号控制的。机电一体化的驱动电动机，应选择容易控制转向与转速的电动机。执行机构的动力源是电力、空气压力与液体压力等。

Ⅱ 执行机构的运动

执行机构的动作可粗略地分为旋转运动与直线运动两类。

旋转运动

通过执行机构，就得到了轴的旋转运动。

直线运动

执行机构的动作是像汽缸那样的直线往复运动。

① 汽缸

汽缸是将压缩空气的能量转换为直线运动的装置。如图 3 所示，它由缸体，活塞及活塞杆等组成。其原理是靠电磁阀切换空气的流向，使汽缸往复运动。

② 油缸

油缸基本上与汽缸相同，是将油压的能量转换为直线运动的执行机构。用电磁阀来切换油的流向，从而产生往复运动。

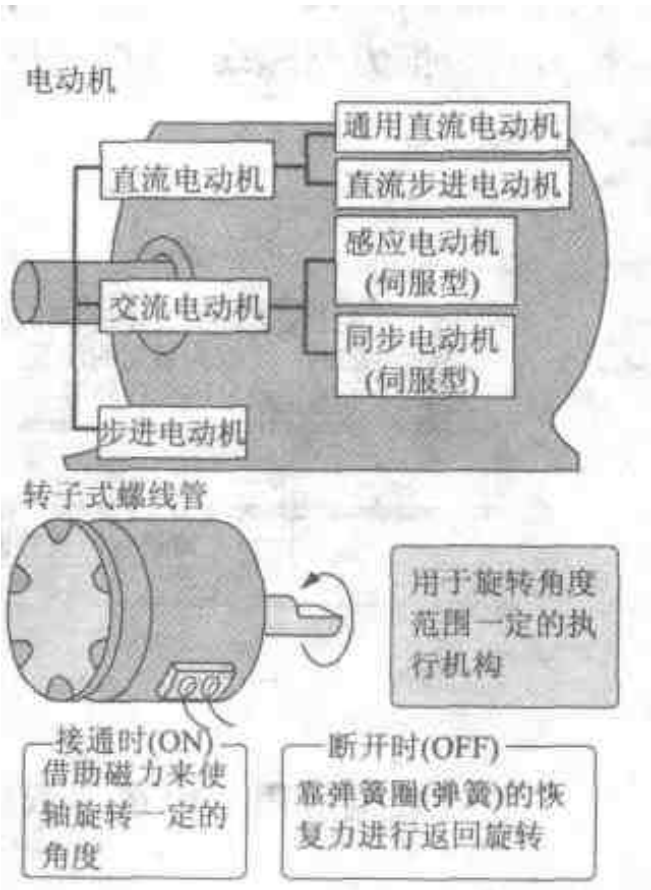


图 2 转子式螺线管的驱动

传递压缩力的媒介是液态油。液体(油)与气体(空气)不同，如进行像图 4 所示的压缩，其体积也不会变化(这一性质称为“液体的不可压缩性”)。因此，可将活塞准确地停留在任意位置。这是油缸的最大特点之一(参见图 5)。

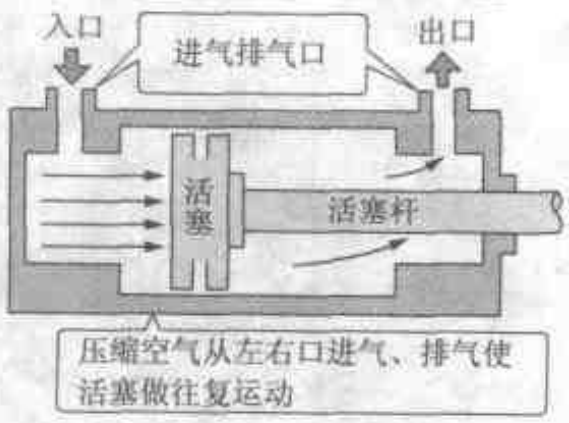


图 3 汽 缸



图 4 液体的不可压缩性

作为易于理解的油缸的例子，还可以举出自卸车的承载斗升降所用的油缸。

③ 螺线管

如图 6 所示，螺线管是利用电流流过空芯线圈时电流产生的磁场，使铁片（可动铁芯＝插棒）吸引到线圈中心。这时可动铁芯的动作是直线运动，图 6 的下端可利用其拉力而上端则可利用其推力。利用拉力的为拉力型螺线管，利用推力的为推力型螺线管，也有拉力与推力两用型螺线管。

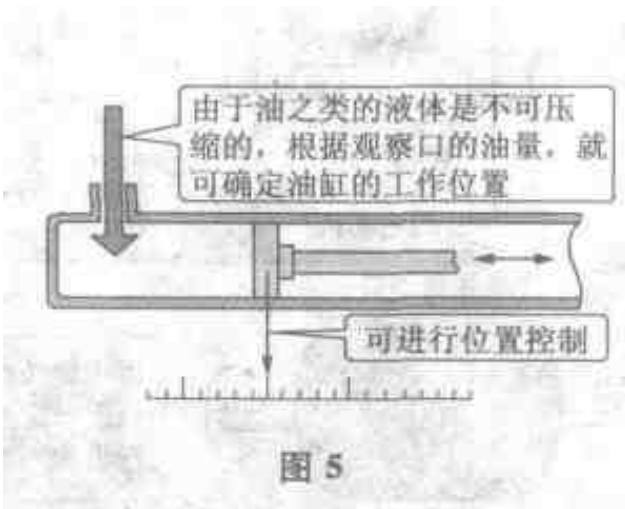


图 5

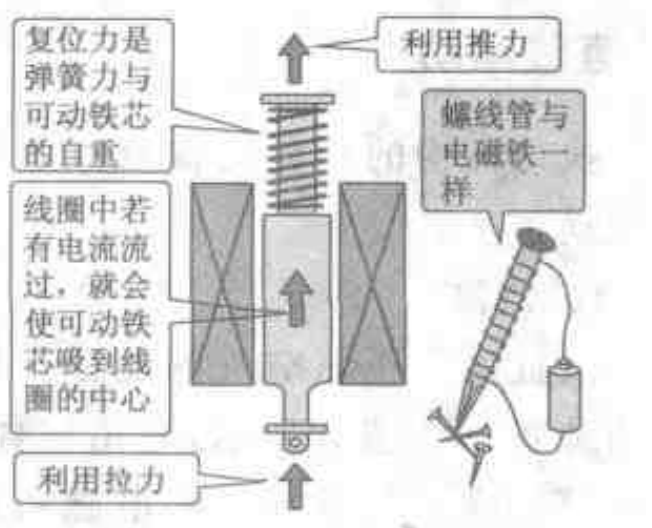


图 6　螺线管的驱动原理

螺线管也可用于前述的汽缸电磁阀的切换中。

2 执行机构的驱动电路

执行机构的驱动电路是变换控制信号所必需的电路，是为了将来自计算机的信号变换为使执行机构动作的控制信号的电路。

1 驱动执行机构用的电路

执行机构是不能直接用计算机的“1”、“0”信号驱动的。如图 1 所示，现在来考虑用一个来自传感器的输入信号，驱动执行机构的计算机控制系统。

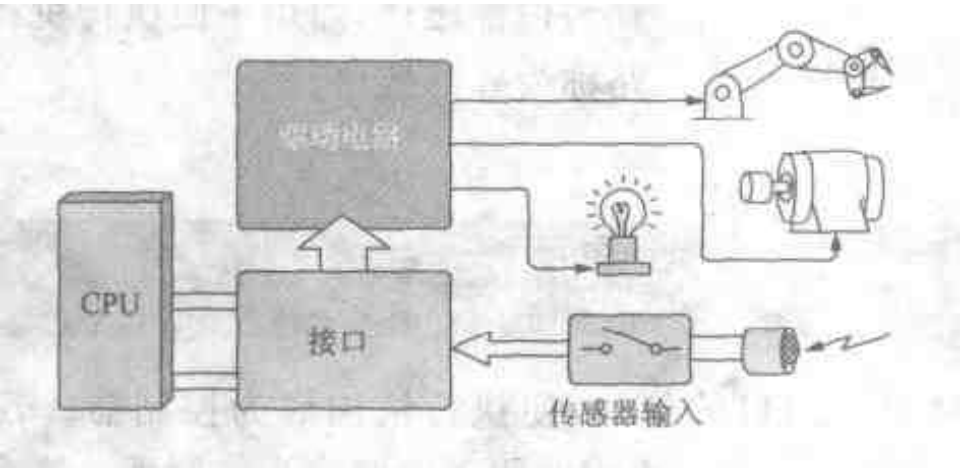


图 1　执行机构的驱动

驱动执行机构用的信号通过接口的输出口来输出的。如果将来自输出口的信号变换为使执行机构动作的信号，可以实现例如，图 1 中电灯点亮，作为执行机构的电动机的接通、切断，或使机械手夹住、松开等。为此必须用图 1 所示的执行机构驱动电路。

驱动电路是用来使执行机构动作的，所以也称为“传动电路”。图 2 所示为模型电动机与三相电动机的驱动电路。由图 2 可以知道，为什么需要各种各样电动机的驱动电路。

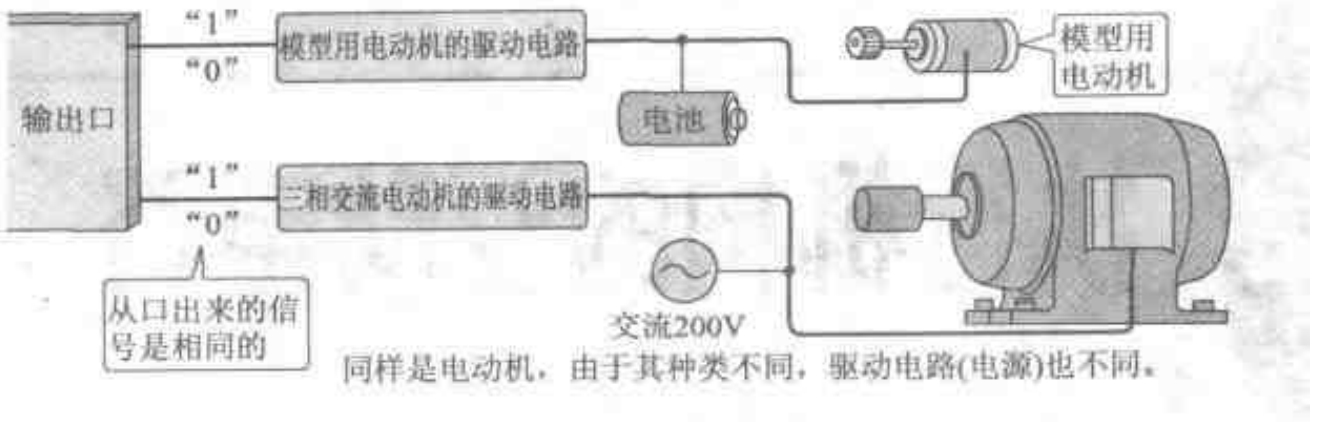


图 2　模型电动机与三相电动机的驱动电路

Ⅱ　接口的通用电路

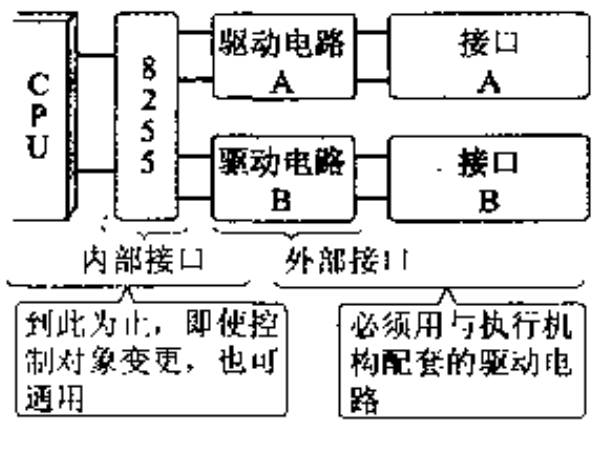


图 3　内部接口

由图 1 可知，到接口的输出口为止，基本上都是由几乎相同的电路构成的，而不用考虑后面接的是什么样的执行机构。因此如图 3 所示，通过将这一部分的通用(标准)化，就可用于其他的执行机构的驱动。

把这种能通用于各种各样输入输出的接口称为内部接口，而用于使执行机构动作的驱动电路称为外部接口。

Ⅲ　执行机构驱动用的信号

通过来自接口输出口的信号，使执行机构成为控制器。若说得更详细一点，是前面所说的信号使执行机构的驱动电路成为控制器。这个信号可分为三大类。

"1"、"0"的开关信号

计算机的"1"、"0"，其本身就是对应于执行机构驱动开关的接通、切断状态(参见图 4)。

脉冲信号

若将输出口的数字脉冲供给驱动电路，就得到与该脉冲成比例的动作。作为最容易理解的例子，如图 5 所示，是供给步进电机的脉冲数与轴的旋转角度的关系。

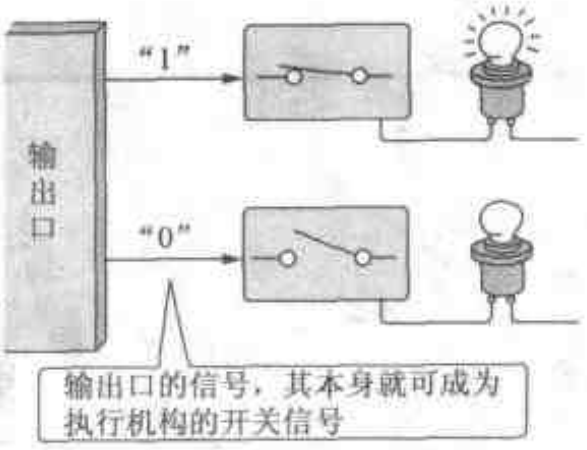


图 4 用"1"、"0"的信号驱动

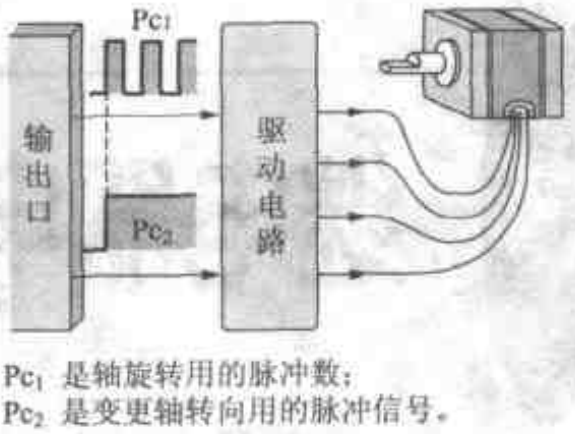


图 5 用脉冲信号驱动

来自数/模(D/A)转换器的信号

根据来自输出口的数据位数、输出对应的数字量，将这一数字量数据转换为对应大小的电压值，施加到执行机构上称为数/模转换。

图 6 所示为 8 位的数/模转换的作用。此数/模转换器用于直流电动机变速等场合。电动机的转速用旋转编码器检测，也有用反馈控制的。

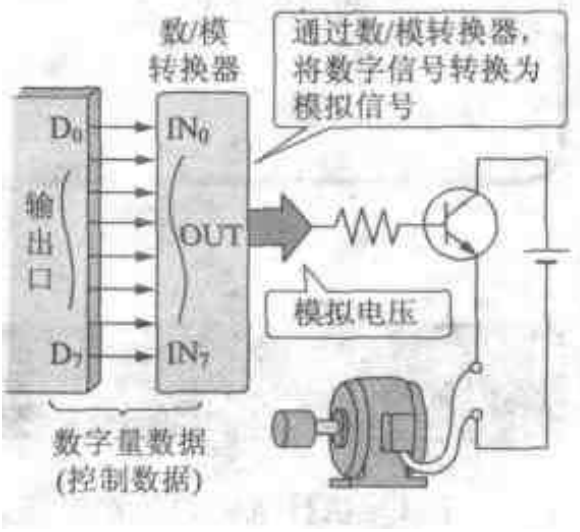


图 6 数/模转换的作用

3 继电器电路

继电器如右图所示，是利用在线圈(绕线)上流过的电流产生的磁力吸附铁的性质，用于电气接点作为开关的装置。也称为电磁继电器。



1 执行机构与继电器电路

表 1　执行机构的驱动电源

直流	5V	电流的大小不同
	12V	
	24V	
交流	100V	
	200V	

仅仅用计算机输出信号本身来使电动机或汽缸等执行机械动作，其力量是不够的。所以常使用继电器以接口信号控制线圈电流控制外部电源。依靠这种继电器，就能控制不同电源种类的执行机构。表 1

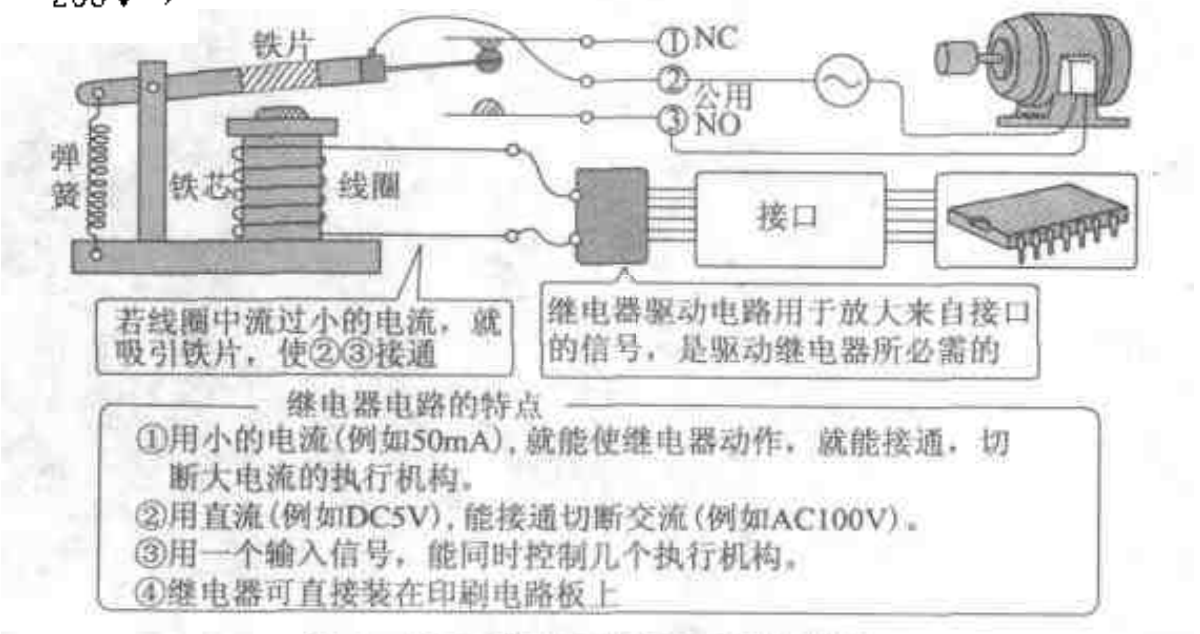


图 1　继电器驱动的原理及其特点

表示常用的执行机构的驱动电源种类。

继电器的重要用途之一，就是用在接口的控制上。这类用途中，机械接点继电器的原理图及特点如图 1 所示。将图 1 的执行机构电动机，换成其他类型的执行机构，比如汽缸或螺线管等，也能对执行机构进行接通与切断的控制。

继电器电路是驱动这类执行机构用的非常方便的电路。

小灯泡的亮、熄

图 2 是用继电器驱动两个执行机构（这里是小灯泡亮、熄的例子）的原理图。通过来自计算机的信号，可确认切换的操作。

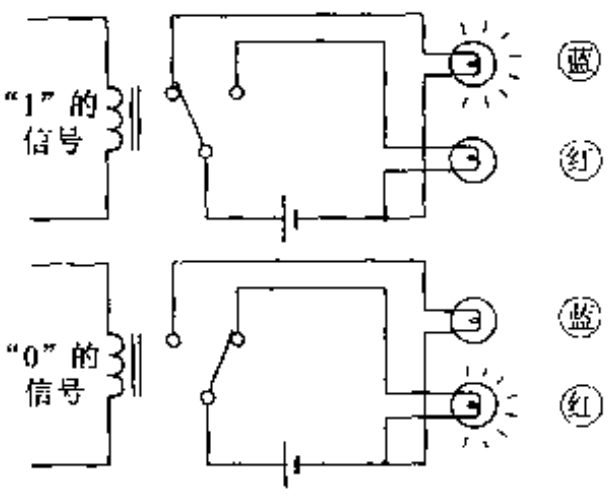


图 2 小灯泡的继电器控制

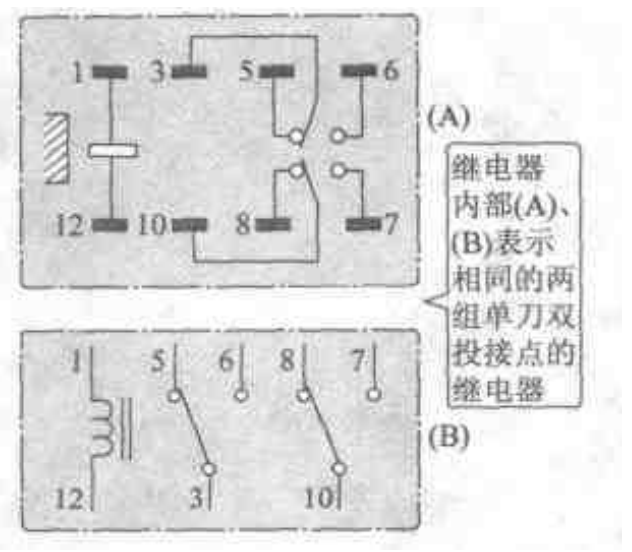


图 3 继电器内部电路

图 3 表示的电路是常用于印制电路基板上的继电器的构造。这是一个称为带两组单刀双投接点的继电器，若图 3 的引脚 1 与 12 之间输入了来自计算机的信号，则线圈通电励磁，原来引脚 3 与 5 及 10 与 8 导通的接点，就切换为 3 与 6 及 10 与 7 导通。这种带两组单刀双投接点的继电器，使用一个信号，可同时控制两套执行机构。

制造厂提供各种不同构造的继电器，可查阅制造厂的产品样本。以前所介绍都是有接点的继电器，另外还有集成（IC）化的无接点继电器。

继电器的应用

图 4 所示为使用继电器的具体应用例子。

① 通过两个接点来切换施加在直流电动机上的电源极性，就能改变旋转

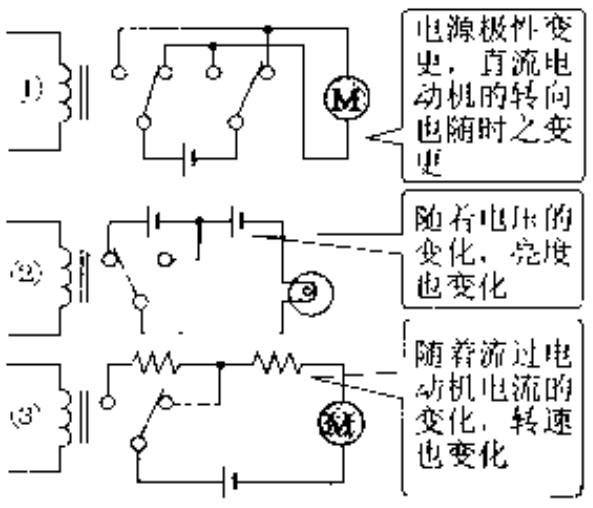


图 4　继电器的应用电路

方向。

② 切换灯泡上所施加的电压，就能改变灯泡的亮度。

③ 通过改变流过电动机电流的大小，可改变电动机的转速。

控制用的继电器，应当选用易于在印制电路基板上插装的适合 IC 管脚距(2.5mm)的继电器。

4 使用晶体管的驱动电路

1 用晶体管驱动执行机构

前面已叙述过关于用继电器来驱动的执行机构。但实际上，来自计算机的信号，要用于驱动如图 1 所示的继电器，力量是不够的。所以必须用晶体管的电流放大作用，构成继电器的驱动电路，来获得驱动继电器所需的足够电流。

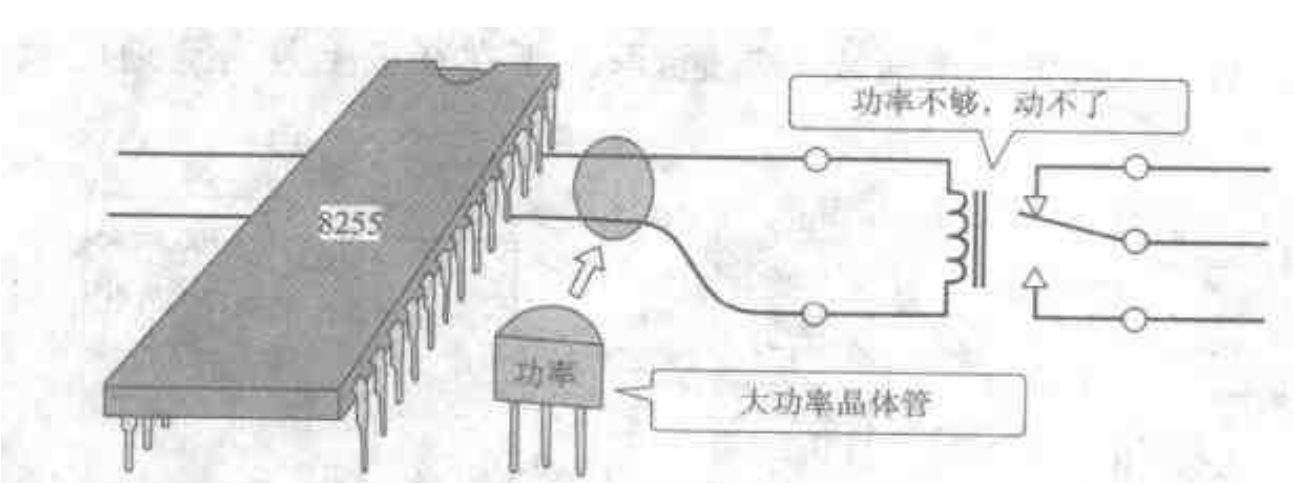


图 1　从 8255 输出的信号的功率

电流放大作用的定义是利用晶体管的性能，将小信号电流放大，变成大信号电流。如图 2 所示，若基极(B)与发射极(E)之间流过来自计算机的微弱电流，则集电极(C)与发射极(E)之间就流过大的电流，使继电器线圈励磁，能使继电器接通(ON)。

利用晶体管的这一放大作用，就能直接驱动执行机构。

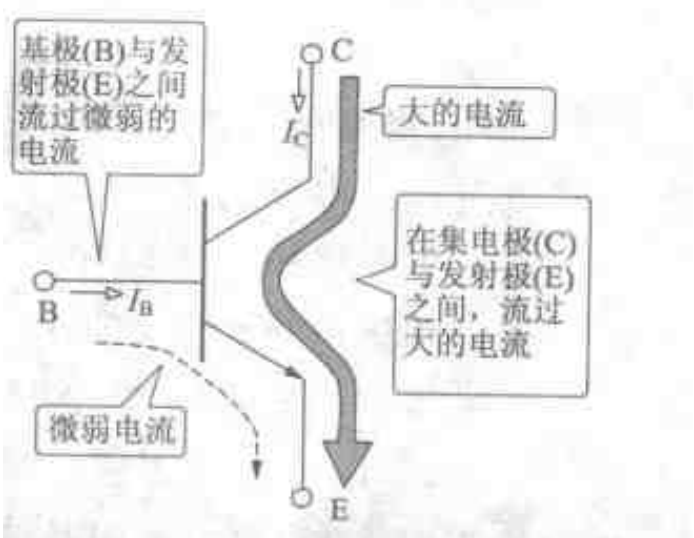


图 2　流过晶体管的电流

Ⅱ　晶体管的电流放大系数

如图 2 所示，基极上流过的小电流，会产生集电极流向发射极的大电流。此时，经放大的集电极电流 I_C 与基极电流 I_B 之比值，就称为电流放大系数。

$$h_{FE}=\frac{I_C}{I_B}$$

根据晶体管的不同，这一电流放大系数可从数十倍到近千倍。

在图 2 中，当流经基极的电流为 0.02mA 时，若要流过集电极的电流为 2mA，则此时的电流放大倍数如下式所示。放大后的集电极电流，就是流入继电器或执行机构的电流。

$$h_{FE}=\frac{I_C}{I_B}=\frac{2}{0.02}=100$$

Ⅲ　晶体管的开关状态

被放大的集电极电流流通或不流通，取决于在基极上是否流通电流（参见图 3）。

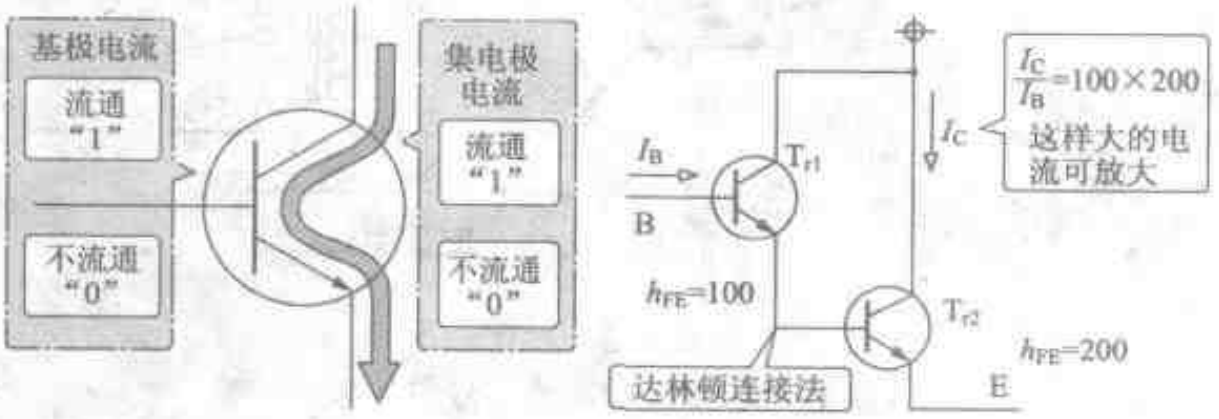


图 3　晶体管的开关状态

现在，将基极电流假定为数字量“0”、“1”的值，

流过基极电流为零“0”，

流过集电极电流为零“0”，

流过基极电流为 0.02mA“1”，

流过集电极电流为 2mA“1”。

这样，可以通过检测流过基极的电流，就知道流过集电极的电流，将这一晶体管的工作状态，称为利用晶体管的开关状态。

Ⅳ　晶体管的选择

一般情况下，晶体管的选择顺序可以按图 4 所示的流程来考虑。

不同类型的晶体管，有其保证正常工作的最大额定值。应当选择能适合于执行机构和继电器负载的、最大额定值足够大的晶体管。通常，应选择晶体管的额定值为所需电压与电流值的 2～3 倍。实际工作中常通过查表来决定。

选择好晶体管后，通过该晶体管的电流放大系数可以核查从计算机得到的基极电流是多大，若基极电流不适当，则即使来自接口的信号输出为正常值，也不能工作。在这种情况下，如有必要，可选择电流放大系数更大的晶体管，或如图 3 所示用达林顿接法连接，来得到合适的基极电流。

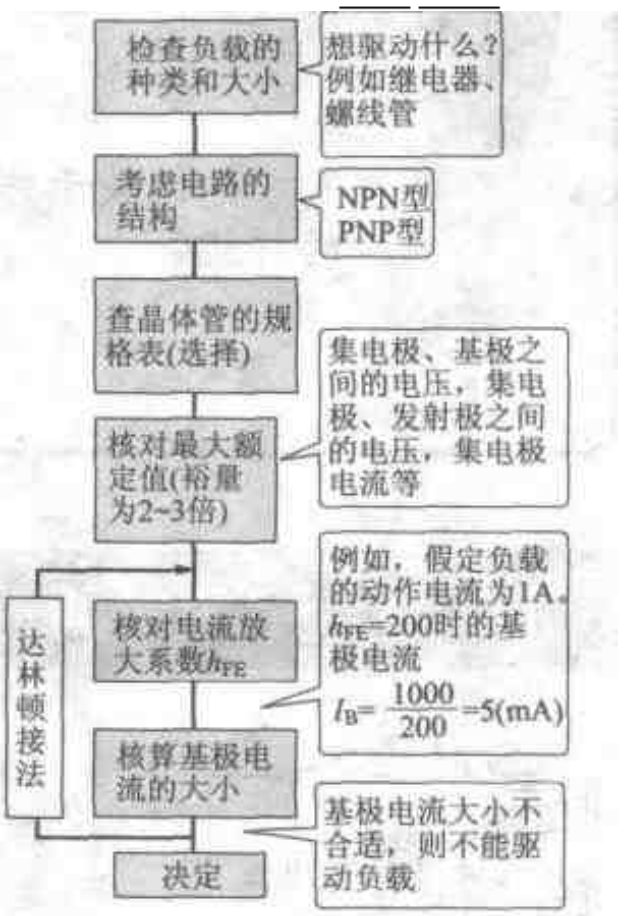


图 4　晶体管的选择顺序

5 螺线管驱动电路

介绍关于作为直线运动执行机构的螺线管。



Ⅰ 螺线管的动作原理

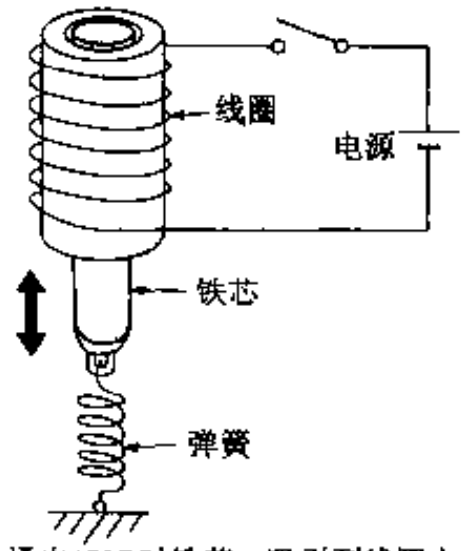


图 1　螺线管的动作原理

如图 1 所示，螺线管是靠线圈中流过的电流产生的磁力来吸引可动铁芯的执行机构。比如，要将物体推开、拉动、压住、打开等单纯机构的机械直线运动部件，都可以利用这种执行机构。另外，自动售货机，办公设备或家用电器等，也装有直接利用螺线管作为直线运动的部件。

螺线管的驱动类型，有直流型与交流型。其驱动的额定电压一般为

直流：5V、6V、12V、24V、48V

交流：100V、200V

具有同样大小吸力的螺线管，其电压越大、线圈中流过的电流越小。

Ⅱ 螺线管的使用要点

吸　力

吸力是螺线管定额中最重要的指标。若吸力不够，不仅螺线管的功能不能

发挥，而且还可能使其他的机械结构部件遭到破坏。负载的大小必须小于螺线管的吸引力。

在使用状态中，由于电压的降低与温度的上升，螺线管的吸引力也会下降，因此制造厂推荐的值是以85%额定电压时的吸力为标准的。这一吸力在样本中是以"N"(牛[顿])为单位表示的，它与力的另一单位"kgf"的关系如图2所示。螺线管吸引力的大小，从2.94N(0.3kgf)到9.81N(10kgf)的都有。

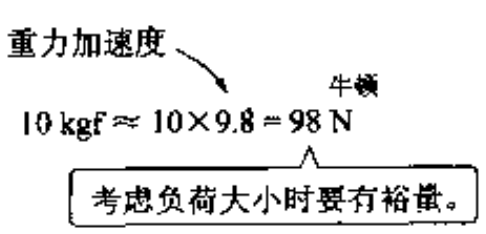


图2　力的单位的换算

另外，必须注意相对于额定的吸力，空载状态的"空击"，或负载在30%以下的轻载的使用，都会缩短螺线管的使用寿命。

行　程

选择螺线管时，行程大小也是重要的指标。如图3所示，行程加大，则吸力就急剧减小。因此，在额定行程以内，也应使用尽可能短的行程。

若行程加长，使铁芯不能正常地返回的话，则在线圈中流过大电流，这是造成故障的原因。在需要长行程的情况下，如图4所示，以杠杆或汽缸等机械机构组合使用为好。

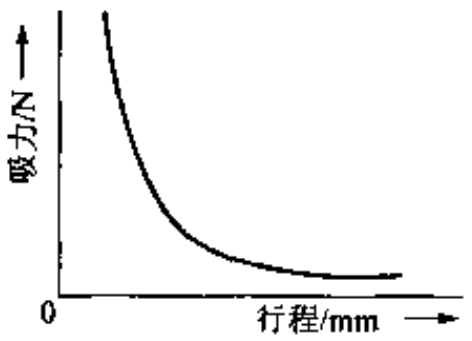


图3　吸力与铁芯行程的关系

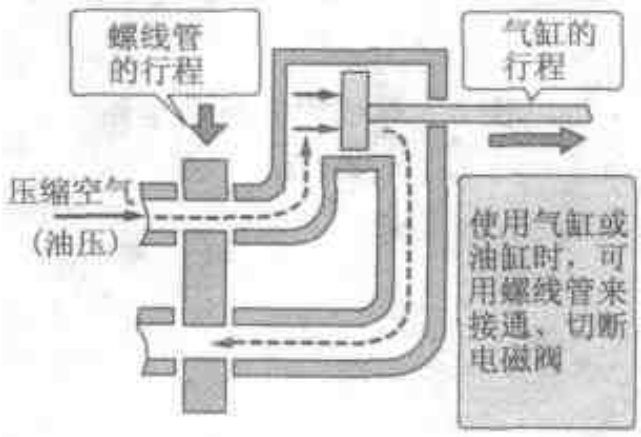


图4　与汽缸组合的使用

将动铁芯紧贴在固定铁芯上

如图5所示，在吸引时若动铁芯不能紧贴在固定铁芯上，也会增大线圈中的电流，成为损坏的原因。因此，在安装中必须使固定铁芯与动铁芯的接触面完全地接触。

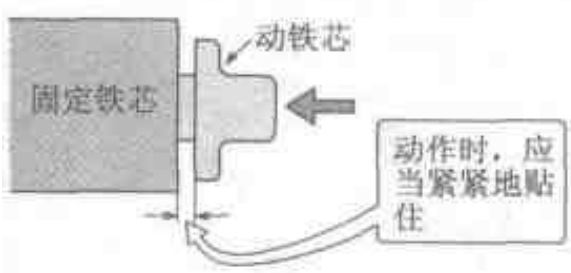


图5　固定铁芯与动铁芯的隔离

Ⅲ　螺线管的驱动电路

图 6 所示为使用执行机构与螺线管驱动电路的例子。通过 8255 输出的信号，使继电器动作，驱动螺线管。

在此电路中，通过继电器电路，可由外部电源来提供与螺线管工作电压相当的电源电压。在此电路中使用欧姆龙公司的继电器(G2VN-237P)，因其接点容量可达 3A，所以此范围内的螺线管都能驱动。

另外，在切断螺线管时，由于反电势造成的高电压，很可能损坏晶体管与集成电路。作为保护措施，如图 7 所示，在螺线管的线圈上并联接入二极管。

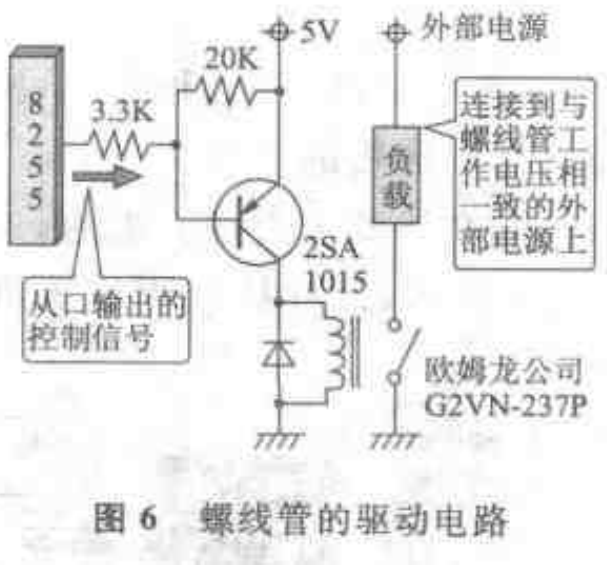


图 6　螺线管的驱动电路

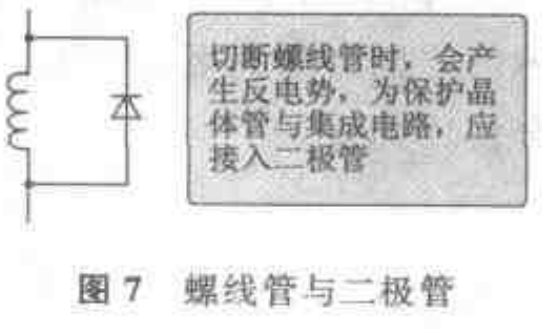


图 7　螺线管与二极管

6 步进电动机的驱动电路

Ⅰ 步进电动机

步进电动机与普通电机不同，仅在线圈上施加电压是不会旋转的。

步进电动机是通过施加脉冲，根据脉冲数来旋转的电动机。因此，利用脉冲数量，可以准确地控制旋转角度。比如，如图 1 所示，若发送 100 个脉冲时，电机轴的旋转角为 180°，则发送 200 脉冲时的旋转角度就是 360°。

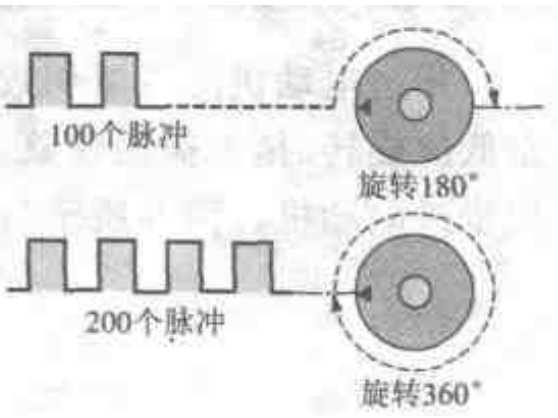


图 1　脉冲数与旋转角度成比例

这样，不但能通过传感器的信号，而且也能通过计算机的输出信号来准确地控制旋转角度。也就是说，步进电动机是适合计算机控制的电动机。

作为我们熟悉的例子，打印机打印头驱动用的电动机，就是步进电动机。

在文字处理等印刷机中，竟能如此精密、令人佩服地打印，也是步进电动机的功劳。

Ⅱ 步进电动机的原理

当图 2 所示的线圈 A 中流过电流时，定子变成 N 极，就吸动转轴（转子）的 S 极。接着，切断线圈 A 的电流，若使电流流过线圈 B，则转子的 S 极，就被吸到线圈 B 所产生的 N 极。这样，就随着励磁线圈的通电，而使转子连续地旋转。

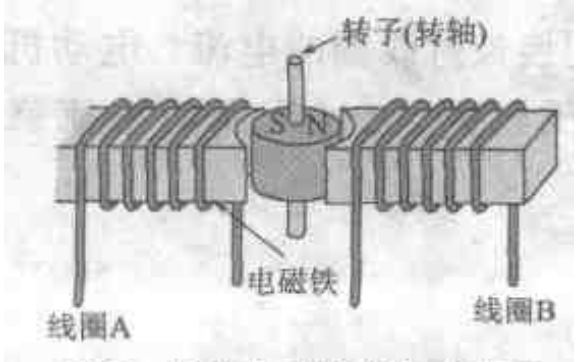


图 2　步进电动机的驱动原理

Ⅲ 步进电动机的特点

① 脉冲数与转角成准确的比例；

② 每一步所对应的角度误差小；

③ 电动机的正反转、停止响应快捷；

④ 能用数字信号的输出脉冲来控制(能开环控制)；

⑤ 只要施加电压，步进电动机就有自锁(制动)力，因此能保持在停止位置。

由于步进电动机有这些特点，所以可用于计算机控制中。

Ⅳ 步进电动机的驱动电路

步进电动机的线圈相数，有双相、三相、四相、五相等。步进电动机的缺点是低速旋转时，有振动现象，为了得到更小的步进角分辨率，制造厂推荐使用五相步进电动机。图3所示为常用的四相步进电动机的基本驱动结构。

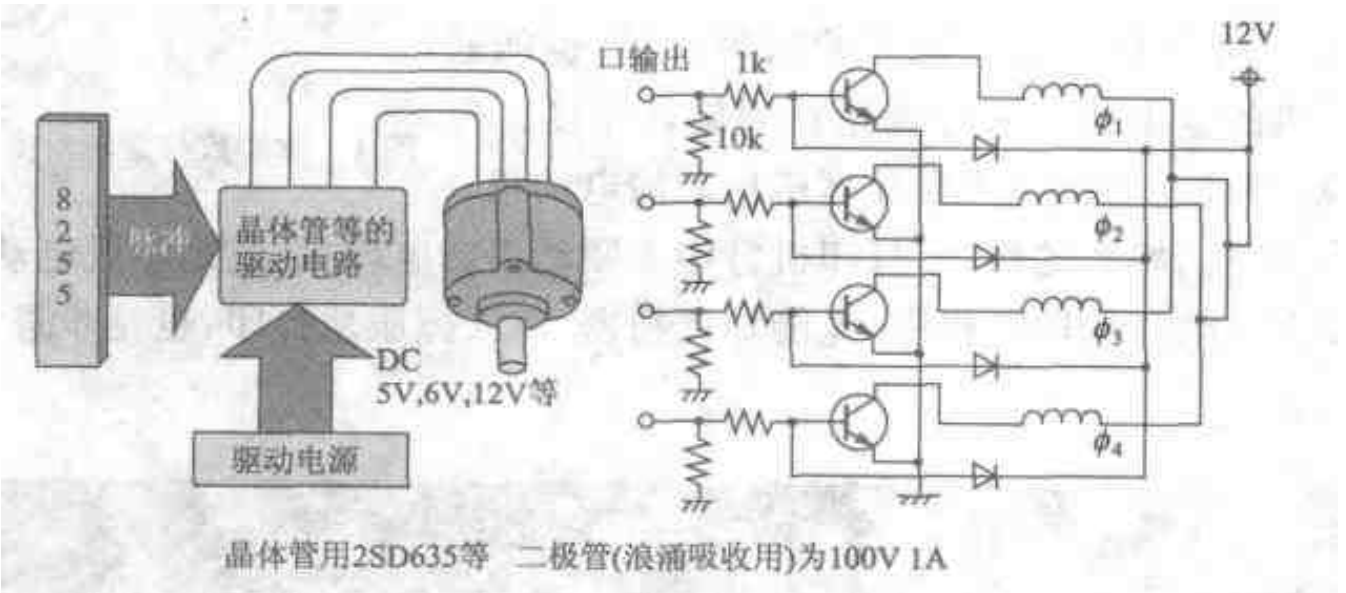


图3 基本驱动结构图

由计算机来提供脉冲，再通过晶体管开关来切换流过线圈的电流。电动机驱动常用的电源为直流5V、6V、12V。额定电压越大，流过线圈的电流就越小。

Ⅴ 步进电动机的驱动

如图 4 所示，除了晶体管步进电动机驱动电路外，在 IC 型封装中还包含了四个晶体管的驱动电路，作为步进电动机驱动器（晶体管阵列）。使用这种晶体管阵列可简化驱动电路。例如，用三菱电机公司的晶体管阵列 M54532P。

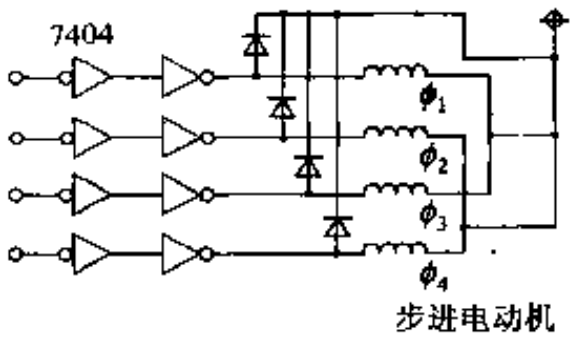


图 4 三菱 M5432P 驱动器

Ⅵ 励磁方式

对四相步进电动机提供驱动脉冲的方法，有以下三种。

① 单相励磁。四相中，经常只有一相流过步进脉冲电流。

② 双相励磁。四相中，经常有两相流过步进脉冲电流。

③ 单-双相励磁。单相励磁与双相励磁交替进行。步进角度为 1/2，适用于要将步进角分得更小的场合。

图 5 表示由双相励磁提供驱动脉冲的方法与数据。要使步进电动机改变转向，只要通过程序，将提供脉冲数据的顺序倒过来就行了。

	双相励磁方式				数据	
ϕ_1	0	1	1	0	&H6	↑
ϕ_2	0	0	1	1	&H3	
ϕ_3	1	0	0	1	&H9	
ϕ_4	1	1	0	0	&HC	↓

(&H表示十六进数) 正转 反转

图 5 双相励磁方式的驱动数据

7 固体继电器的驱动电路

家用电器用的100V电源可以利用计算机的信号来控制，其应用范围在不断地扩大。

这里介绍一下关于常常作为半导体继电器用的固体继电器。

I 交流100V电源的控制

固体继电器有直流控制用与交流控制用两种之分，但一般把交流控制用的称为SSR。图1表示SSR的外观。输入引脚(INPUT)上施加操作电压(5V、12V、24V)，将负荷电压(例如交流75～250V)连接在输出引脚(LOAD)上。

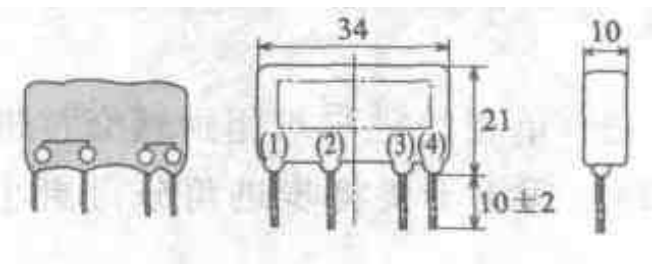


图1 SSR的外观形状

从用途上看，SSR可与机械的电磁继电器同样使用。其形状紧凑，所以电路构造简单。

II SSR的内部构造

以前所介绍的继电器，都是由电磁线圈为输入端，接点电路为输出端组成的。而SSR则如图2所示，是使用光电耦合器，用光来传递信号的。因此，能完全隔离接通、切断负荷时所产生的噪声等。

SSR的动作是通过输入端的信号，使发光二极管上流过电流而产生光，该光使光晶体管导通，就能控制输出电路。

过零反转电路的定义是(参见图3)，接入信号时，交流负载端在零电位附

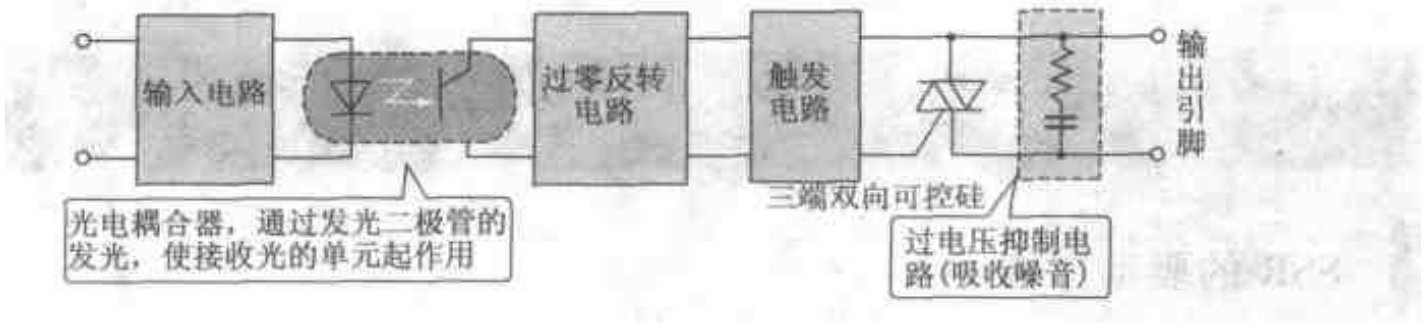


图 2　SSR 的信号传递

近触发，使三端双向可控硅导通；切断时，也是在负载电流到零附近触发切断。因此可减少伴随着控制信号产生的噪声或浪涌电压。

连接螺线管或电动机等的感性负载时，由于电流对电压的相位滞后，会在 SSR 上施加浪涌电压。过电压抑制电路即是为此而设的保护电路。

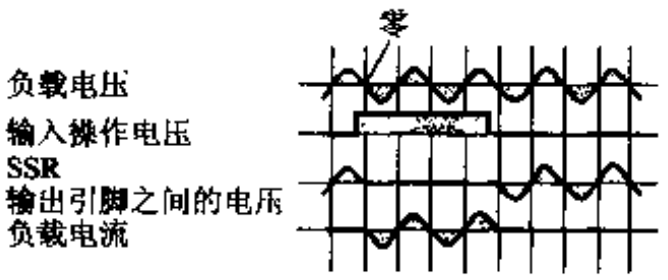


图 3　过零反转电路的动作

Ⅲ　使用 SSR 时的注意事项

SSR 可通过来自计算机的信号直接控制交流电压 100V、200V 的电路，因此在交流执行机构控制中，是利用价值很高的元件。在使用中应注意以下事项：

① 当交流负载端有大的浪涌电压影响时，为了防止误动作，应当连接压敏电阻(参见图 4)。

② 对小容量的负载来说，应当接入与负载并联的假负载电阻(参见图 5)。

③ 确定所使用的输入信号管脚(＋、－极性)，不得搞错。

④ 应注意 SSR 的使用环境温度。

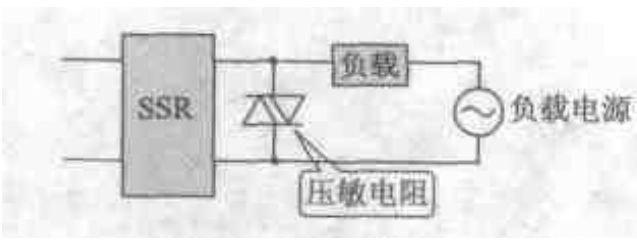


图 4　压敏电阻的连接



图 5　小负载情况下假负载电阻的连接

Ⅳ　SSR 驱动电路的例子

SSR 的驱动方法

图 6 所示为 SSR 的驱动方法的例子。

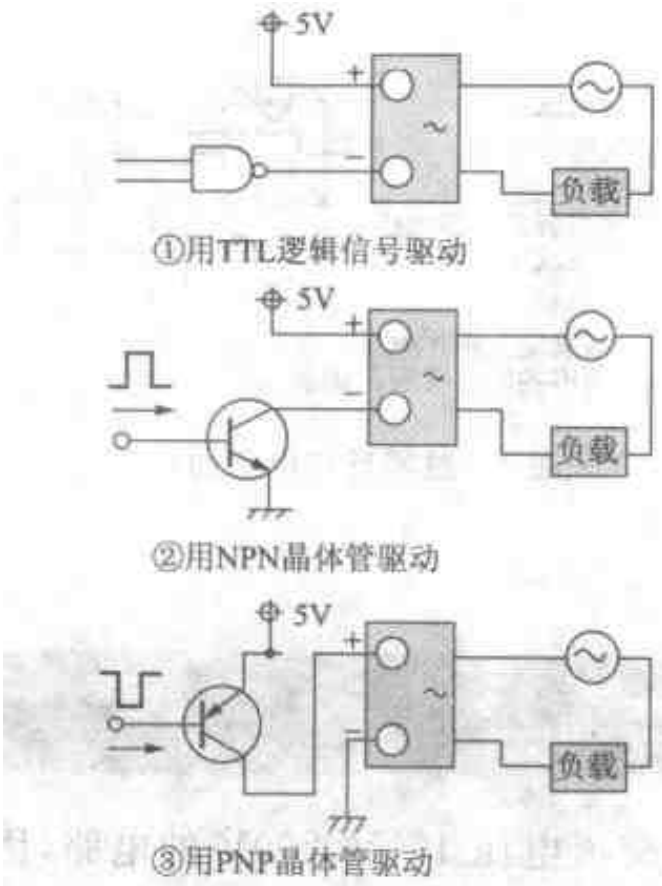


图 6　SSR 的驱动方法

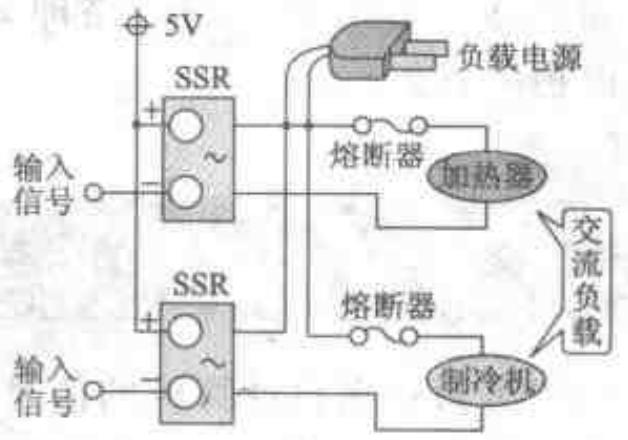


图 7　交流负载电路

利用 SSR 的电路例子

图 7 所示为利用 SSR 的交流负载电路例子。若在负载中连接电磁继电器，则可以连接大功率的负载。如图 7 所示，交流负载电路中接入了熔断器。

Q 挑战题

① 执行机构是什么?
② 执行机构的两个基本运动是什么运动?
③ 要使汽缸的气流方向切换,用什么装置?
④ 与汽缸相比,油缸有何特点?
⑤ 称执行机构的驱动电路为什么?
⑥ 什么是内部接口?
⑦ 把数字量数据转换为模拟量数据的叫作什么?
⑧ 继电器的驱动电源有几种?
⑨ 利用半导体 IC 取代机械接点的继电器叫作什么?
⑩ 什么是晶体管的达林顿电路?
⑪ 描述一下螺线管的工作原理?
⑫ 写出表示力的单位"N"与"kgf"的换算公式。
⑬ 螺线管的吸力与行程有何关系?
⑭ 螺线管断开时,产生的电势叫作什么?
⑮ 对⑭题中的电势,有什么对策?
⑯ 用每一个脉冲旋转 1.8°的步进电动机来旋转 90°,需要多少个脉冲?
⑰ 使步进电动机反转,要提供什么样的脉冲?
⑱ 步进电动机的励磁方式有几种?
⑲ SSR 是什么的缩写?
⑳ 过零反转电路的定义是什么?
㉑ SSR 中用什么传递输入信号?

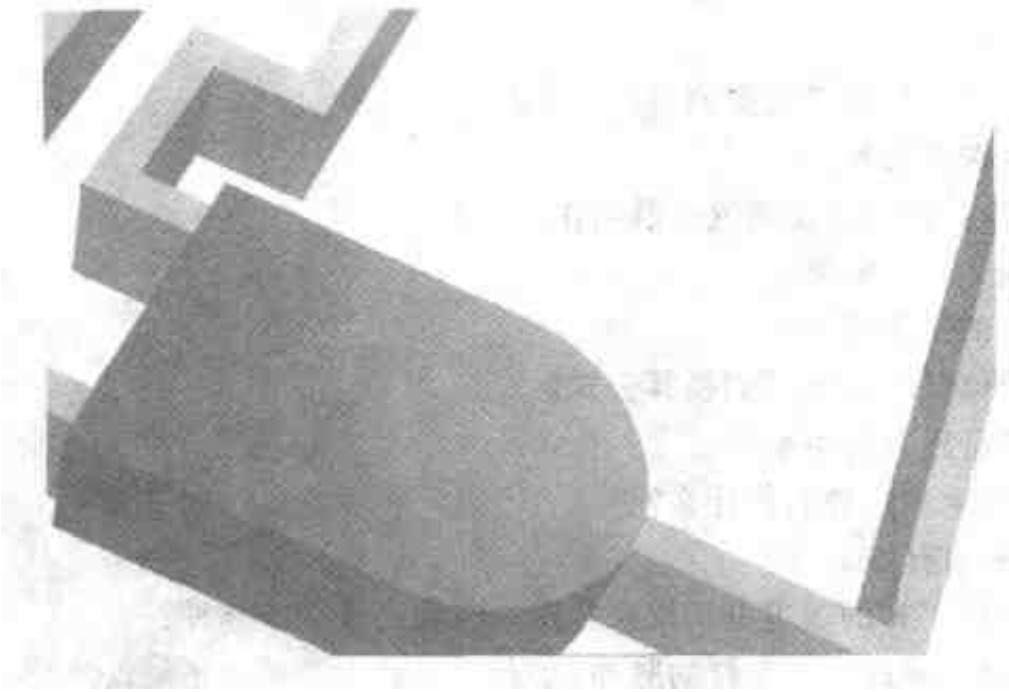


A 答案

①略,参见第 1 节。 ②略,参见第 2 节。 ③螺线管。 ④液压力的传递媒介是液体,因为是非压缩性的,因此可用于位置控制。 ⑤传动电路。 ⑥略,参见第 2 节。 ⑦数模转换。 ⑧DC5V、6V、12V;AC100V、200V。 ⑨无接点继电器。 ⑩参见第 4 节。 ⑪略,参见第 5 节。 ⑫10(kgf) =98(N)。 ⑬行程加大则吸力急剧减小。 ⑭反电势。 ⑮在线圈上并联二极管。 ⑯50 个脉冲。 ⑰供给与正转相反顺序的脉冲。 ⑱单相,双相,单-双相。 ⑲固体继电器。 ⑳略,参见第 7 节。 ㉑光电耦合器。

第4章

控制的基础知识



控制与逻辑电路的基础

“控制”这个话题，有时候让人望而生畏，这样的关于控制的学习，我想应尽量避开。

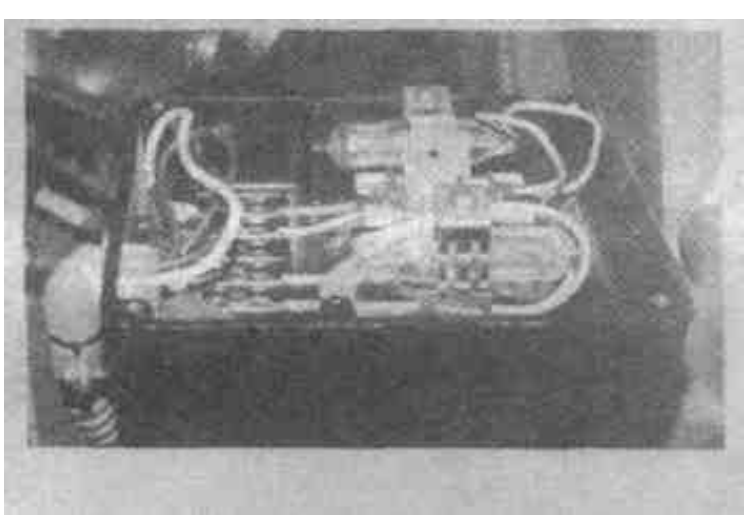
然而，自动化不但进入了我们身边的洗衣机等家电产品，也深入到了工厂、办公室中，如工厂自动化(FA：Factory Automation)，办公室自动化(OA：Office Automation)等。模糊控制、微机控制的话题也常被人谈起。

就当前的信息化时代而言，都要求以时代的需要与目标来开发新产品，若要有效地灵活使用这些机器，则必须掌握控制技术。

控制技术进一步发展为神奇的黑匣子，通过它可有效地灵活使用这些机器，并能最大限度地发挥其价值与功能，真可谓妙极了。

由此可见，学习控制技术的基础知识是非常重要的。

在这一章中，我们的做法是边制作试验电路，边学习“控制”知识，也就是学习所谓难以掌握的控制知识或逻辑电路等基础知识。



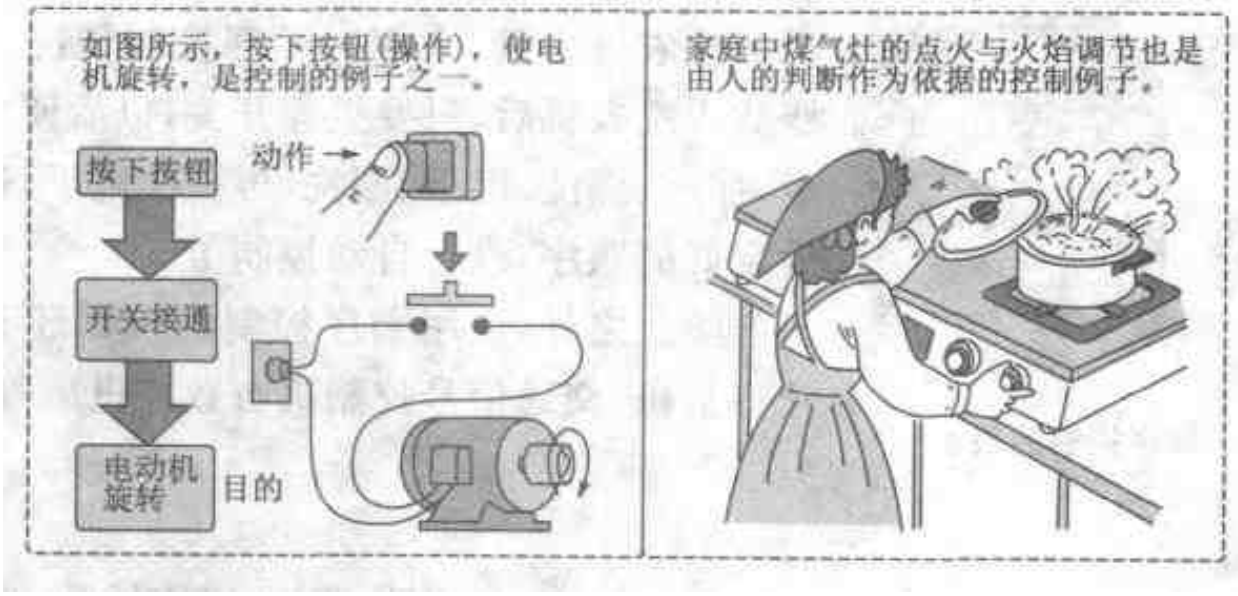
在开始阶段，学习基本理论是非常重要的，因此，大家务必在这一章的制作IC逻辑实验板的同时，学习控制的基础理论知识。

我想，IC逻辑板可对开始学习控制技术的人，在理解逻辑电路时起重要的作用。

1 控制的定义

首先我们探讨一下“控制”是什么概念。

日本标准 JIS 将控制定义为“为了达到某一合适的目的，对作为对象之物施加所必要的操作”。我们考察一下身边的例子。通过考察，可见在我们的周围控制现象到处存在。



Ⅰ 自动控制的定义

以电冰箱的温度控制为例进行探讨。

如果冷冻箱内温度升高，就自动地接通制冷电动机的开关制冷，太冷了就自动停止。冷冻箱内的开关动作如图 1 所示，是通过称为热敏电阻的控制器件，自动地、反复地进行接通、切断操作的。像这样通过控制装置，自动地进行的控制称为自动控制。

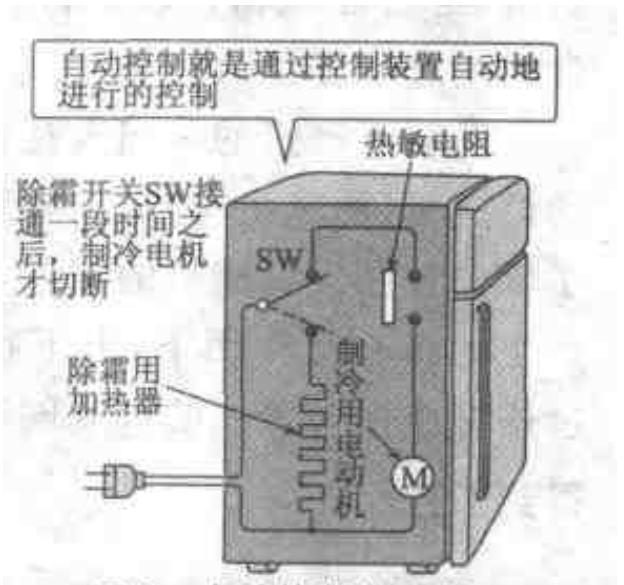


图 1　自动控制的定义

热敏电阻例如双金属片[1]，是利用液体或金属的膨胀变化，使接点断开与闭合功能的温度控制元件，已用于电暖器、电熨斗的温度控制中。

Ⅱ　控制的方式

控制的方式可分为两大类：控制系统呈开放状态的顺序控制与控制系统呈闭合状态的反馈控制。

顺序控制



图 2　顺序控制的例子

所说的顺序(sequence)就是英语按次序的意思。顺序控制是“根据事先编制好的顺序，依次一步步地操作所进行的控制”。

如图 2 所示，以事先准备好水、电、洗涤剂之后的洗衣机为例，来探讨顺序控制情况。把脏衣服放入洗衣机后，只要接通开关，以后便如图 2 所示，加水、漂洗、甩干、漂洗、再一次甩干，就按预先设定好的顺序，进行自动控制了。

除此之外，使用顺序控制的机器还有自动果汁售货机，交通信号控制机与数控机床等。

反馈控制

反馈控制是“将装置或机械的某一量(控制量)与目标量相比较，对所得的差值反复地自动地进行修正的控制。”

发明蒸汽机的英国人瓦特，使用图 3 所示的调速机(稳速机构)来运行蒸气机，就是使用了反馈控制。调速机的摆球，在蒸汽机转速所产生的离心力作用下，上下摆动，它的动作通过连杆机构与蒸汽的进气阀连动，就使蒸汽量得到了控制。

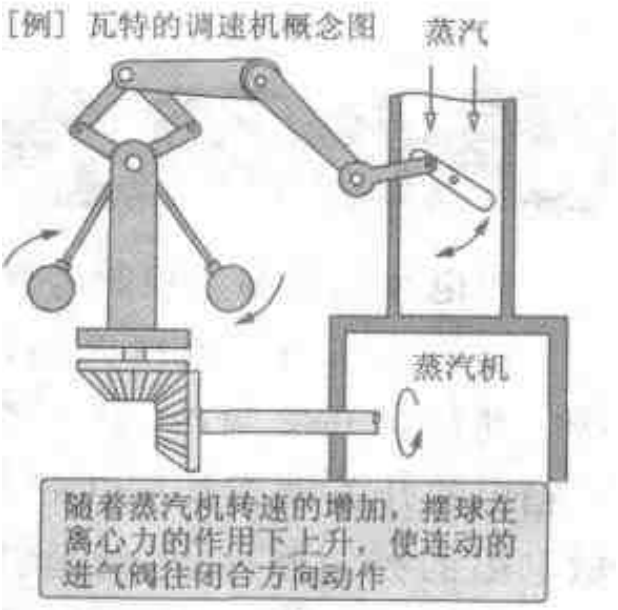


图 3　反馈控制的例子

1) 双金属片：由两片热膨胀系数不同的金属片组成，由于温度变化，内部变形不同，而使金属片发生弯曲。

举 例

① 顺序控制的例子

如自动售货机、电梯等。这类控制都是根据事先设定的顺序，依次按步骤进行操作的控制。

② 反馈控制的例子

如电炉的温度控制、水箱的供水等。将机械或装置等动作的数据量（把这称为控制量）与目标量相比较，反复、自动地修正其产生的差值所进行的控制动作。

2 计算机控制的定义

1 计算机控制

前述的“自动控制”这一术语所代表的顺序控制或反馈控制所需的控制部分，都是由继电器电路或集成电路等强电、电子电路构成的，将计算机功能加到此控制部分上，就是计算机控制。

现在来讨论一下图 1 所示的电灯 1 与电灯 2 的交替亮灯、熄灯控制。用电子电路对电灯进行交替亮灯、熄灯控制，是用定时器来控制亮灯时间，用继电器来进行开关切换的。

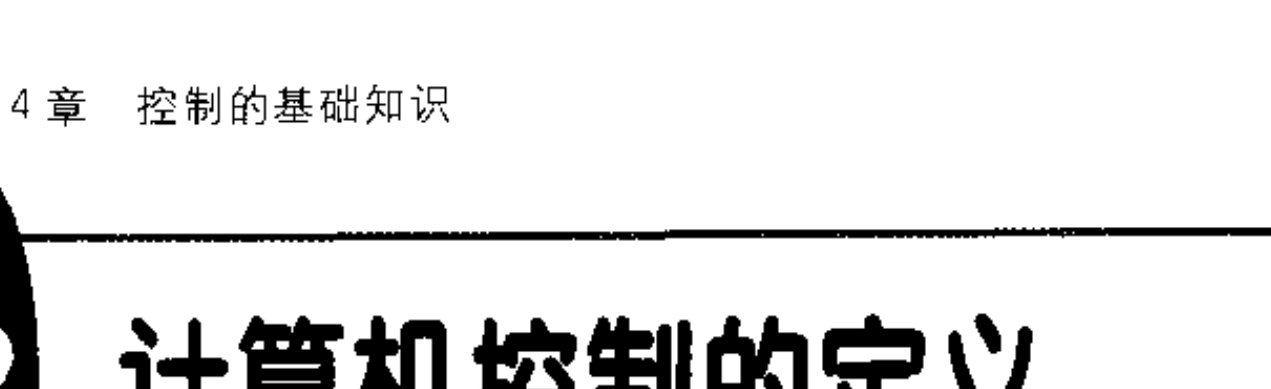


图 1　用电子电路控制

若使用计算机，则如图 2 所示，开关的动作与定时器都被计算机取代，因此

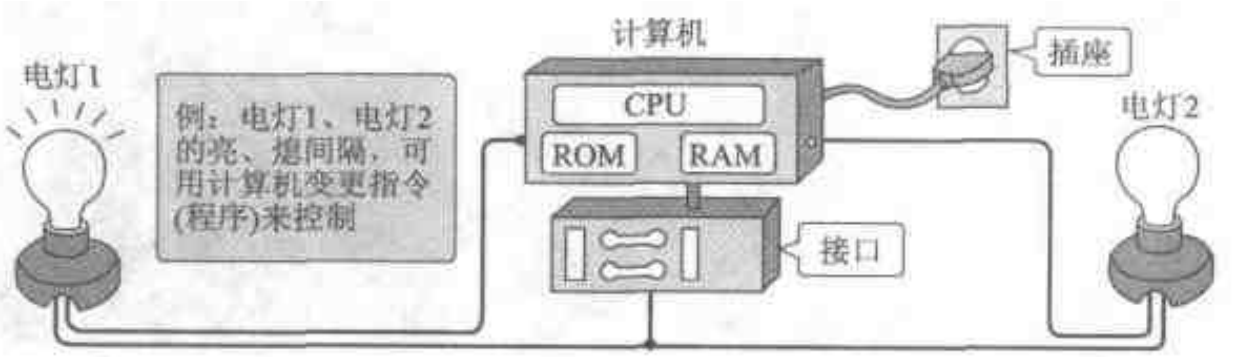


图 2　用计算机控制

通过程序，就可以决定某电灯的亮灯与否及亮灯的时间。像这样以计算机控制目标对象驱动部分的，就是计算机控制。

对此例中的控制来说，除了使它为某一目的进行必要的动作之外，还必须知道控制目标处于何种状态。在计算机控制中，此控制目标的状态，可通过传感器获得的信号来处理，这一信号经过计算机处理，变换为控制信号，这就是称为执行机构的控制机械动作的信号。如前所述，“传感器(sensor)”是相当于人的视觉、听觉、触觉等感官，是可以把光、压力、位移等物理量或化学量，变换为适合于以后处理的信号的器件，也称为检测器。“执行机构(actuator)”，是用电或液压等能量，使机器动作的装置。例如电动机、螺线管、油缸等。

II 计算机控制的特征

以下列举计算机控制的特征。

通过改变程序就能灵活地(柔性)适应控制对象。把控制装置作为真正的控制器来用，就必须判断装置所处的状态，根据传感器的输入信号即可判断，并通过计算机高精度地自动控制对象的运行。

计算机控制装置体积小、重量轻、并且驱动所需的电功率小，承受温度、灰尘等恶劣环境的能力较强，可靠性高。图 3 所示为计算机控制热处理炉的例子。利用来自传感器的信息控制加热电源的接通与切断，使炉内温度恒定。

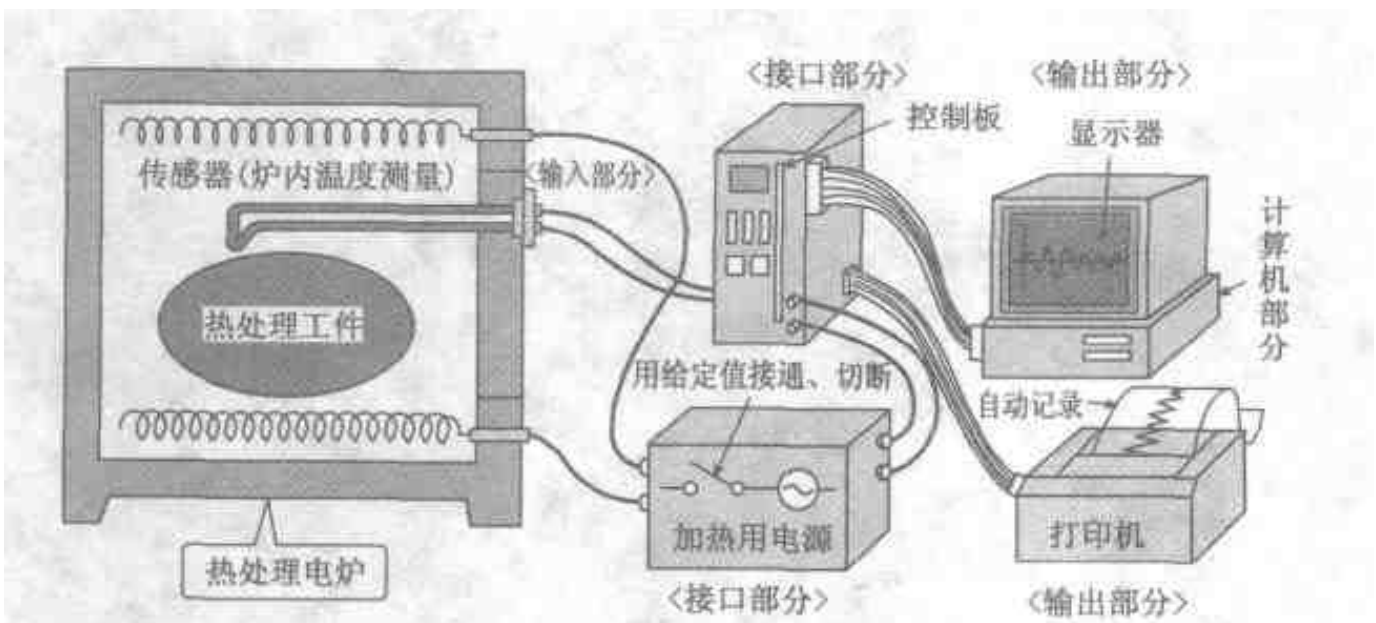


图 3 热处理炉的计算机控制

Ⅲ　计算机控制的组成

计算机控制如图 3 所示，由下列三大部分构成。

计算机

计算机由中央处理装置(CPU)、存储器与运算部件构成。

接　口

接口的作用是把炉内温度的高、低等信息，变换为计算机能处理的信号。

输入输出装置

输入装置是传感器，它通过温度检测元件(热电偶)检测炉内温度，并把信号送入接口，按照计算机发出的指令信号对加热电源进行控制。在图 3 中，打印机记录了炉内温度的变化，打印机是输出装置，当然显示器也是输出装置。

3 数字信号的定义

使用个人计算机的文字处理等软件时，不用知道计算机的内部结构或程序指令，也能对计算机进行操作。但是要用计算机进行控制，则必须理解“操作计算机的语言”。这里介绍一下关系到计算机动作的“1”、“0”数字信号。

Ⅰ 计算机处理的数值

我们生活中，用“十进制”表示数字。这里我们探讨一下表示电气开关状态时的情况。

如图 1 所示的开关，只有“ON－通”、“OFF＝断”两种状态。这一状态用数字表示则为“ON＝1”、“OFF＝0”。

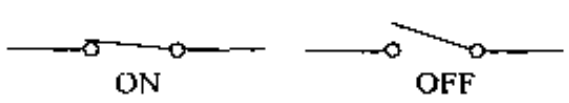


图 1　开关输入

像这样用“1”与“0”明确表示两种状态，所以也可从表示“有”、“无”的状态。

也就是说，计算机处理的数值，只有“0”与“1”两种，这种计算方法称为“二进制”。

Ⅱ 二值信号

可用“0”与“1”两种状态表示的信号称为二值信号。如图 2 所示，根据电灯的亮、熄或电压的大小等二值信号来表示状态的事物是很多的。计算机中所用的最小信号单位即 1 位(二进制的 1 位)，也是其中之一。把这样的“1”与“0”信号称为数字信号。

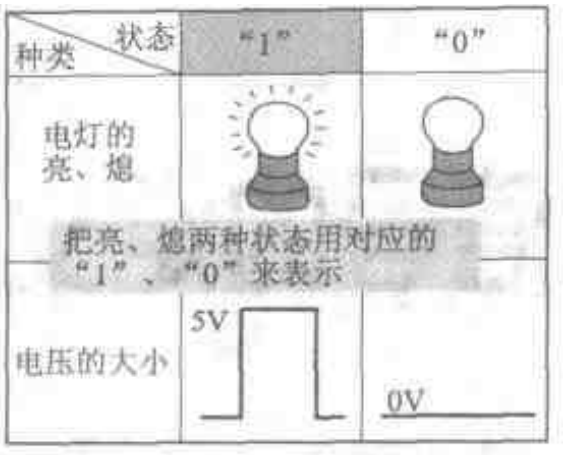


图 2　电灯的二值信号

Ⅲ　阈　值

在图 3 中，现有电压的大小为 3.5V，该如何判断是 1 还是 0 呢？这种场合下就得根据其状态的种类事先设定区分基准来判断"有"还是"无"，把这一作为基准的电平称为"阈值"(门限)。例如，如图 3 所示，以 5V 的一半 2.5V 作为阈值时所作的判断。这一阈值的大小是数字电路中极为重要的因素。

常用的 TTL 数字电路中，设置门限电压 1.35V 左右作为阈值。如图 4 所示，把约为 2.7V 以上的电平作为"1"，把约为 0.5V 以下的电平作为"0"。

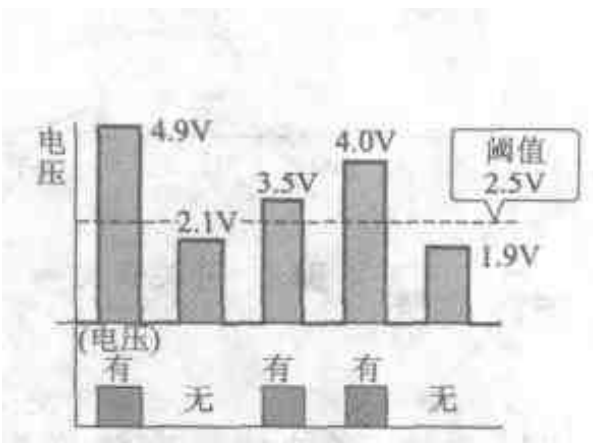


图 3　阈　值

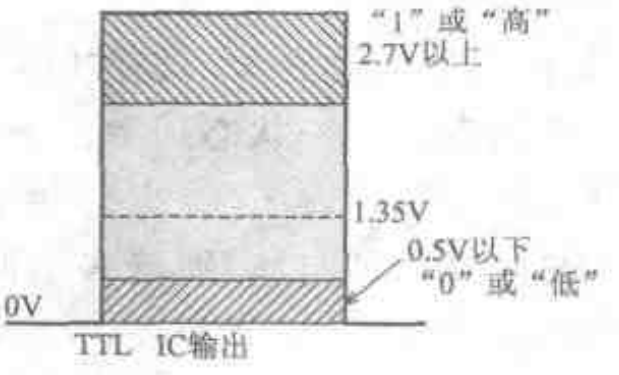


图 4　门限电平

有电压状态称为"高"电平，无电压状态称为"低"电平。

Ⅳ　二进制数、十进制数和十六进制数

十进制数到二进制数的变换

如图 5 所示，可通过求出十进制数中含有二进制数的位来求得。

另外，也可用图 6 所示的方法，将十进制数连续用 2 来相除，把所得到的余数以倒序排列，以此求得二进制数。

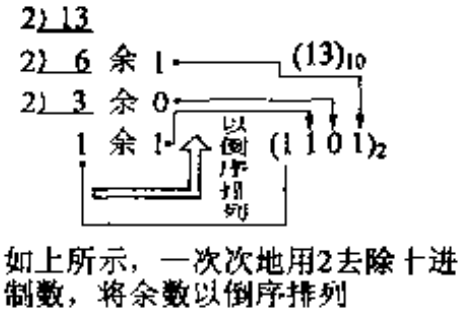
[例] 将十进制数13变换为二进制数

位权	2^3	2^2	2^1	2^0
	8	4	2	1
1或0	1	1	0	1

$(13)_{10}$ = $(1101)_2$

8+4+1=13

图 5 二进制



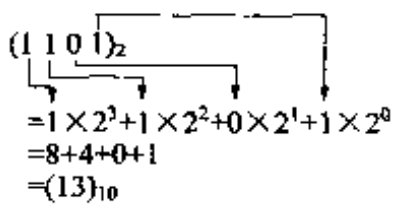
如上所示，一次次地用2去除十进制数，将余数以倒序排列

图 6 二进制数的求法

从二进制数到十进制数的变换

与从十进制数到二进制数的变换相同，可从给出的二进制数各位上的数(1或0)中，乘以“位权”所得之积的总和求之。

[例] 将二进制数$(1101)_2$变换为十进制数。



十六进制数

十六进制数(数的前面带有 &H 字符的)，从 0～9 与十进制数同样用法，10～15 则用 A～F 的英文字母表示，由于可用 4 位二进制数表示 1 位十六进制数，所以以 4 位来进行信息处理是很方便的。

表 1 是表示十进制数、二进制数与十六进制数的对照表。

表 1 十进制、二进制、十六进制对照表

十进数	二进数	十六进数
0	0 0 0 0	0
1	0 0 0 1	1
2	0 0 1 0	2
3	0 0 1 1	3
4	0 1 0 0	4
5	0 1 0 1	5
6	0 1 1 0	6
7	0 1 1 1	7
8	1 0 0 0	8
9	1 0 0 1	9
10	1 0 1 0	A
11	1 0 1 1	B
12	1 1 0 0	C
13	1 1 0 1	D
14	1 1 1 0	E
15	1 1 1 1	F
16	10 0 0 0	10
17	10 0 0 1	11

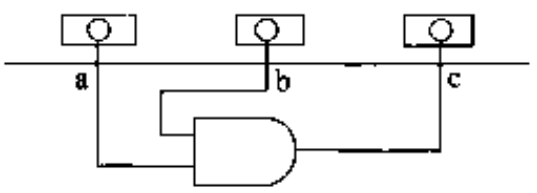
注：这里 A、B 不是通常意义上的英文字母。A 表示 9 加 1 所得的数，B 为再加上 1 所得的数。

例：&H1A4AD $=4\times16^4+10\times16^3+13\times16^0$

$=1024+160+13=1197$

4 逻辑电路实验装置的制作方法

例如把7408 (TTL-IC) 插入14脚插座中。



在a、b的插孔上，连接由开关SW输入的引线，把来自C孔的引线接到发光二极管 (LED) 的电路上去。这样，根据LED的状态就可以确定由开关 (SW) 状态所决定的逻辑关系，同时可以通过试验笔，检查各端子上的1与0的状态。

I 逻辑电路简介

要理解计算机控制，必须要有数字电路（逻辑电路）的基础知识，这里通过制作逻辑电路实验装置（以下称为 IC），一边用脑子来考虑，一边用眼睛与手，也就是身体来体会其中的逻辑电路。

IC 是用发光二极管（LED）的亮、熄来判断并理解逻辑关系的实验装置，首先它用基本逻辑电路 AND、OR、NOT 制成晶体管-晶体管逻辑集成电路 TTL IC（插入插座中），用引线连接各个不同的端子构成电路。

我想使用实际操作的实验工具 IC 也能更好地理解，完全懂得逻辑电路信号的作用。

*　　*　　*

要使用接口来制作电路，焊接作业是必不可少的，但在动手之前，奉劝大家务必先制作 IC 的逻辑电路实验装置，IC 的电路板参见图 1。

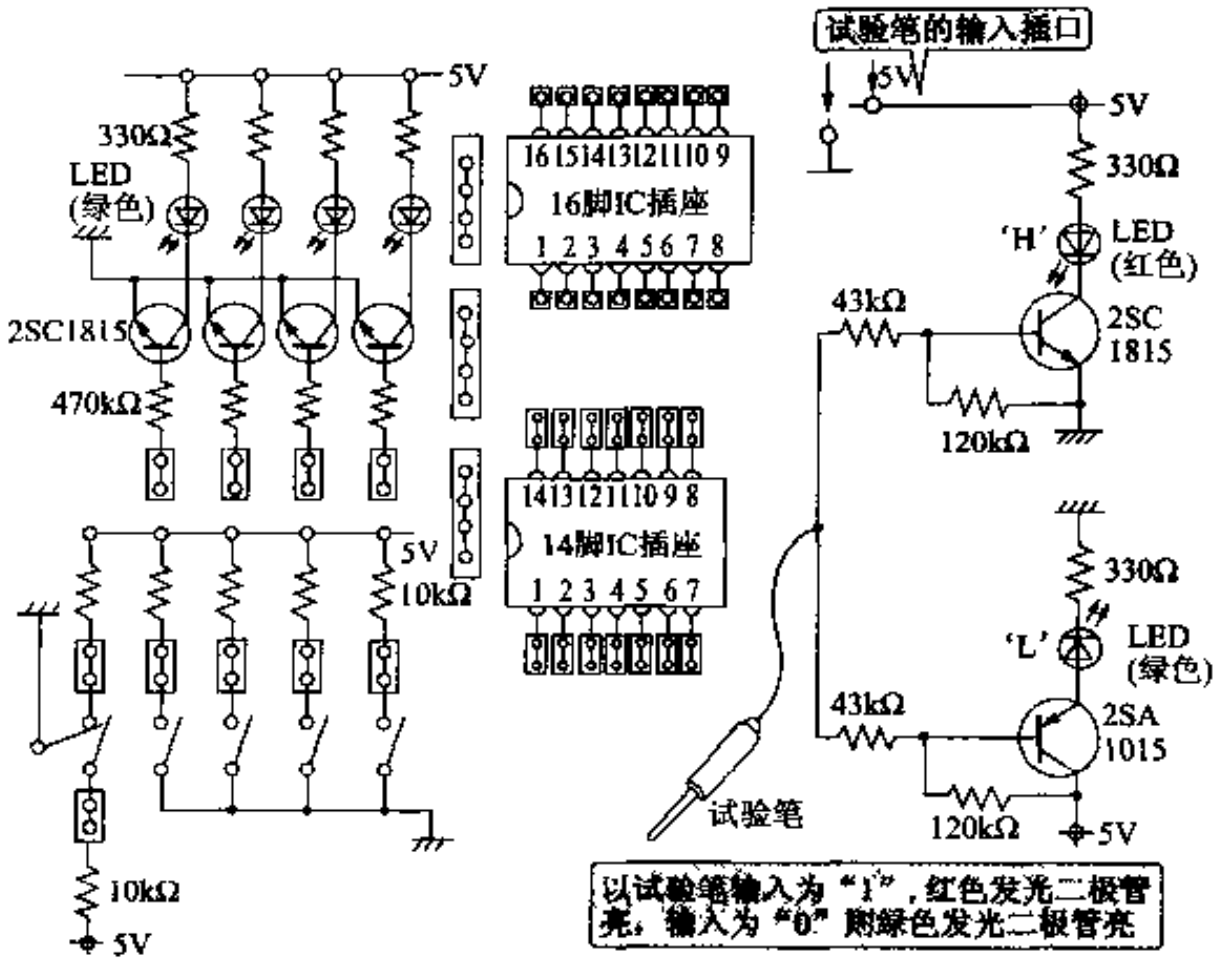


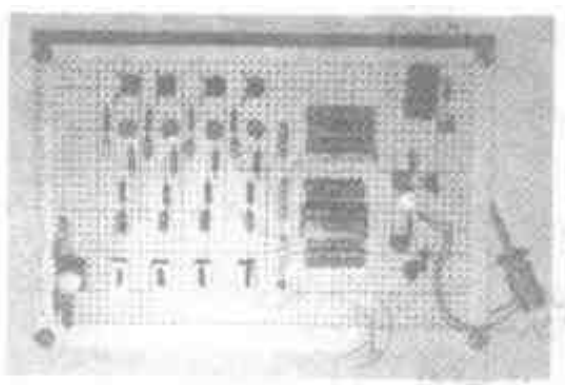
图 1　IC 电路图

Ⅱ　元器件表

基板	ICB-505	一块
晶体管	2SC　1815	5 只
	2SA　1015	1 只
电阻	330Ω	6 只
	470Ω	4 只
	120Ω	2 只
	43Ω	2 只
	10Ω	6 只
发光二极管	红	1 只
	绿	5 只
滑动开关		4 只
按钮开关		1 只
5V 电源连接器		1 只
跳接引线	长 12cm 左右	12 根
IC 印制板插座条(单列)		50 孔
IC 插座	14 脚	1 只
	16 脚	1 只
试验笔		1 支
IC	7408　带插座	1 只
IC	7432　带插座	1 只
IC	7404　带插座	1 只
IC	7400　带插座	1 只
IC	7402　带插座	1 只
IC	7486　带插座	1 只

Ⅲ　IC 的制作方法

元器件的总体布置见照片 1，将各部分分别排列即可。来自 5V 电源的正极线与地线的布线都利用基极四周的印制铜线。



照片 1　IC 电路布置

尽管电源用了易于购置的连接器，但使用装有四个 3 号电池的夹子在桌上试验也是很方便的。可根据自己的条件灵活选用。有可能的话，可把电源校核用的发光二极管接入电路中，便于在实验总是不顺利时判断“电源有没有接通”。

14 脚集成电路 IC 与 16 脚 IC 的 5V 电源与地线管脚均应分别各自配线。14 脚 IC 与 16 脚 IC 用的 1 号管脚均位于缺口的旁边，只有对准了缺口，实验用的 TTL-IC 才能插入。当然，焊接面与元器件安装面上的管脚号是相反的。

装滑动开关时，其方向应当为往上滑动时，所组成的电路使发光二极管点亮。

IC 印制电路板插座条中，有三处为单列 4 孔，这一部分是用于转接信号的，用于当一个信号有几个分支电路时。逻辑校验高(H)、低(L)电平，可用发光二极管的颜色来区别。

5 IC实验(1)
——AND电路的实验

将介绍的与、或、非这三种电路，都是最基本的逻辑电路，必须充分理解其作用。

Ⅰ AND(与)电路

图 1 的小灯泡控制电路中，是两个开关都接通“ON”的场合，小灯泡才亮起来。像图 1 这样有多个输入，只有它们全部都为“1”的场合，输出才为“1”的电路称为 AND 电路。

试一下身边的个人计算机键盘，例如仅当以下三个键同时按下时，才有意义(成为“1”)。如想结束窗口 Windows 操作时，是通过同时按下 Ctrl 键与 Alt 键和 F4 键(“1”＝功能有效，注：日式键盘)来实现的，这就是 3 输入 AND 电路的例子。

图 1　AND 电路

Ⅱ IC 的 AND 电路实验

将 IC 74LS08 插入 14 脚的插座中。74LS08 是由 4 个 2 输入 AND 电路构成的，通过 7 号管脚接地和 14 号管脚接电源来实现其功能(参见图 2)。

表 1 是 2 输入 AND 电路的输入与输出关系的真值表。真值表用于帮助理解“AND”输入组合的条件下，所对应的逻辑输出值，在考虑逻辑电路时，非常方便。

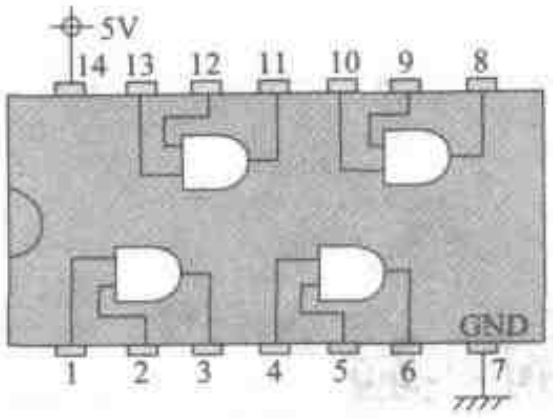


图 2　74LS08 的管脚排列

表 1　真值表

输入		输出
A	B	A+B→C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



OR逻辑电路符号

把 5V 电源插入接插件上，电源指示灯发光二极管(LED)就亮。

如图 3 所示来连接引线。

A-IC 的 1 号引脚为输入脚；

B-IC 的 2 号引脚为输入脚；

C-IC 的 3 号引脚为输出脚，接 LED。

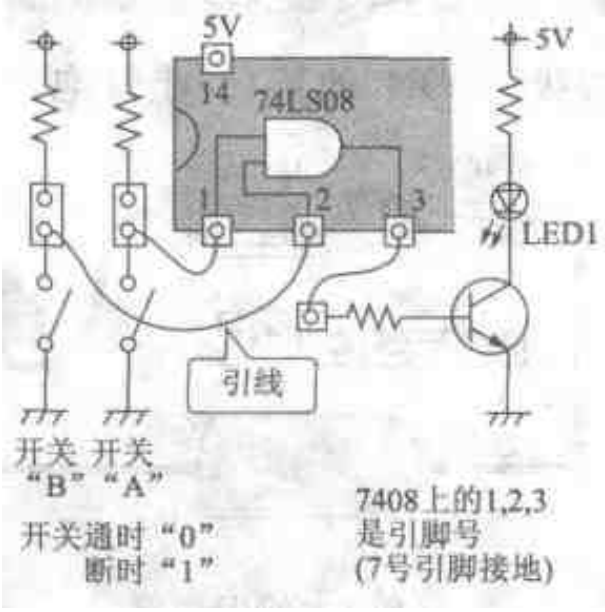


图 3　IC 的连接

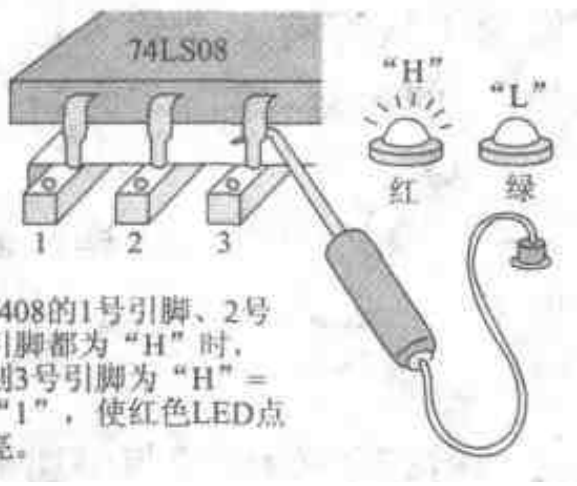


图 4　用实验笔的逻辑试验

现在如图 4 所示，当实验笔接触到 IC 的引脚时：

当开关接通(ON)时(接 0V GND* ="0")；

当开关断开(OFF)时(接 5V="1")。

逻辑实验的 LED 的显示分别为：

"1"时为红色 LED 亮；"0"时为绿色 LED 亮。

由此可知信号输入的状态。

IC 的 3 号引脚的工作状态，如真值表所示，当 1 号引脚与 2 号引脚的输入均为"1"时，3 号引脚的输出也为"1"。

其他的组合状态中，也可用 IC 确定其逻辑功能是否正常。

用引线将起到“与”电路作用的输出，接到 LED 电路上，如图 5 所示的晶体管导通，就可知道 LED1 应当点亮。

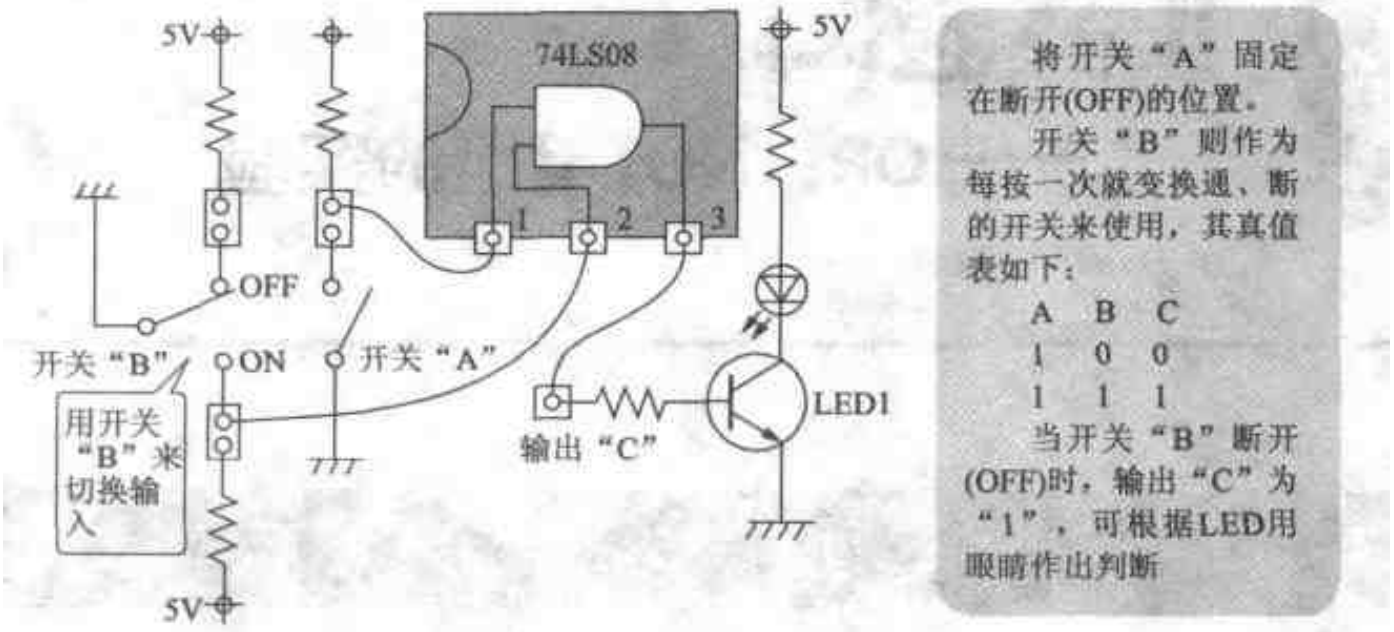


图 5　使用按钮开关的 AND 电路

6 IC实验(2)
——OR，NOT电路的实验

Ⅰ　OR(或)电路

如图 1 所示，小灯泡的工作电路中，只要两个开关中任意一个开关接通“ON”，小灯泡就点亮，当然两个开关都接通时，灯泡也亮。

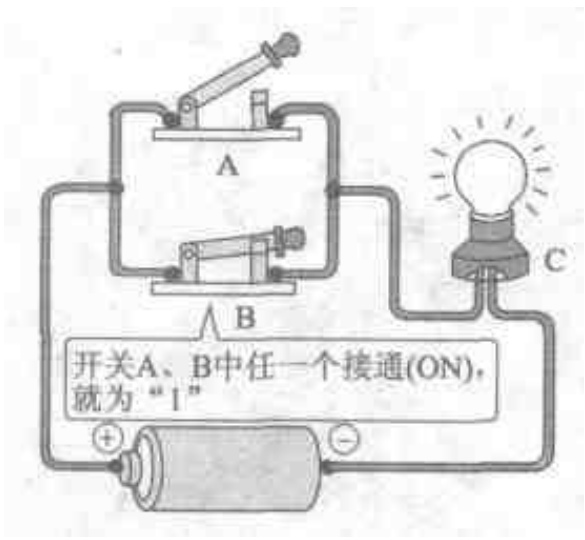


图 1　OR 电路

如图 1 所示，有多个输入中，其中任意一个为“1”时，输出就成为“1”的电路，称为 OR 电路。换句话说，“或逻辑”是“A 或 B 或……”中任意一个条件成立(这里的场合为“1”)就有输出的逻辑。若用我们所熟悉的串联与并联连接术语，则 OR 电路就与开关的并联连接相同，前面所介绍的 AND 电路则与串联连接相同。

举一个我们常遇到的 OR 电路的例子，在只有一名司机的公共汽车上，任何一个人按下显示“下车”的按钮，司机就知道有人需要下车。

Ⅱ　IC 的 OR 电路实验

将 IC 74LS32 插入插座中，74LS32 的引脚排列如图 2 所示。接好逻辑试验电路和连接引线，用试验笔就可进行如图 3 所示的 OR 电路逻辑的实验。

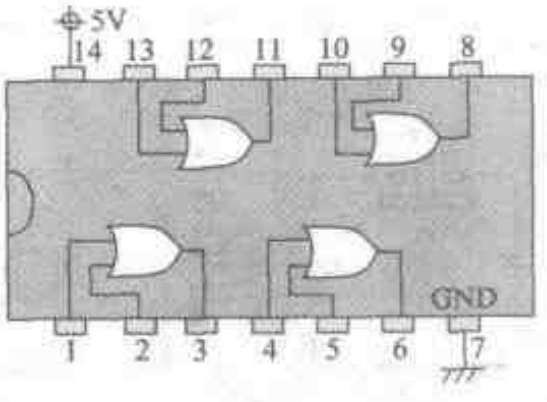


图 2 74LS32 的管脚排列

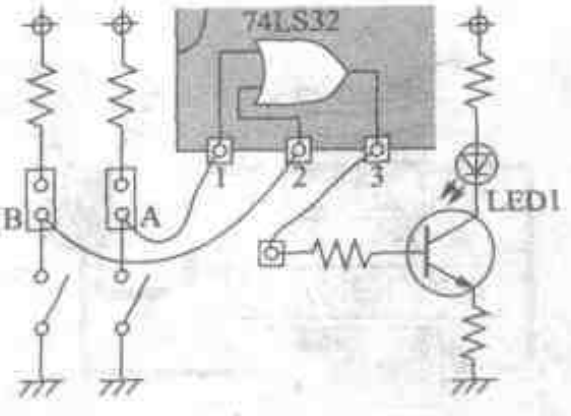


图 3 OR 电路的连接

表 1 是 OR 逻辑电路的真值表。

表 1 真值表

输入		输出
A	B	A+B→C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



OR逻辑电路符号

Ⅲ NOT(非)电路

NOT 电路,相当于“否定”的意思,具有否定的功能。也就是输入为“1”时,输出为“0”,输入为“0”时,输出为“1”的逻辑电路。图 4 所示为小灯泡的 NOT 的电路。

电冰箱中的指示灯的点亮、熄灭功能,就相当于 NOT 电路。打开电冰箱的门时,门开关为“0”,冰箱的灯泡接通“ON”。

关闭冰箱的门时,门开关为“1”,冰箱的灯泡断开“OFF”。

如图 5 所示,驱动电动机的继电器电路之中,制动器接点也常用 NOT 电路。NOT 电路常用于使用 IC 的接口电路中。所考虑的理由是,使用反相信号的逻辑电路,非常适合用于程序或执行机构的控制电路中。另外,为了稳定输入信号,也要将两个 NOT 电路串联连接(反相的信号再反相,则得到原来的同相信号)。

NOT 电路也称为反相器。

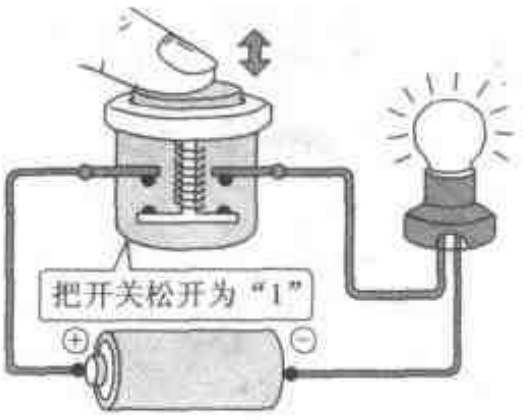


图 4　表示小灯泡的 NOT 电路

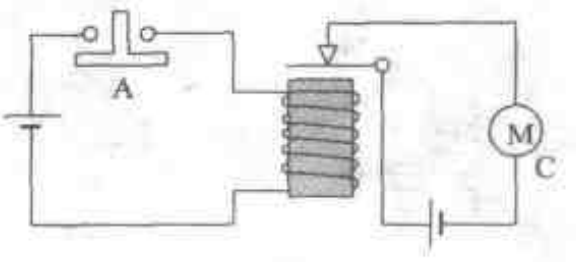


图 5　继电器电路的制动器接点

Ⅳ　IC 的 NOT 电路实验

把芯片 74LS04 插入 14 脚插座中，图 6 表示为 74LS04 管脚的排列，是由 6 个单一输入、单一输出的 NOT(非)电路构成的。NOT(非)电路的逻辑真值表如表 2 所示。

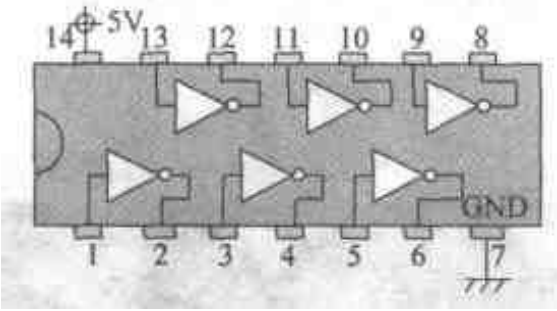
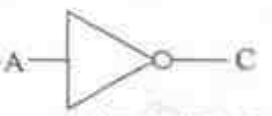


图 6　74LS04 的管脚排列

表 2　真值表

输入	输出
A	C
0	1
1	0



NOT逻辑电路符号

接好试验电路和引线，用试验笔就可以对图 7 所示的 NOT 电路进行试验。

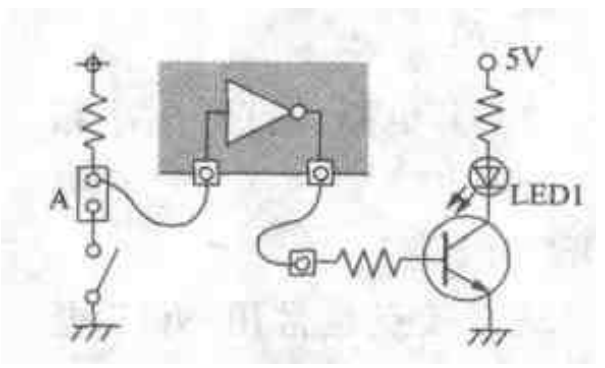


图 7　IC 的 NOT 电路试验

若将开关 A 接通(ON)与切断(OFF)，发光二极管就以其相反的状态来进行点亮与熄灭。

因为 AND、OR、NOT 电路是数字电路中最基本的电路，大家必须掌握其基本的使用方法。

7 IC实验(3)
——NAND，NOR电路的实验

Ⅰ　IC 组合逻辑电路

组合逻辑电路的定义是把几个基本逻辑电路(就是已学过的 AND、OR、NOT 电路)组合起来,成为单一目的工作状态的应用电路。常用的组合逻辑电路都是自成一体以一个 IC 来供货的。这里介绍的 NAND(与非)电路也是其中一例。

不过,把最简单的基本逻辑电路 IC 进行组合来构成电路,也是很重要的控制技术之一。我们通过"IC 实验",来确认其工作原理。

Ⅱ　NAND(与非)电路

如图 1 所示,NAND 电路是由 AND 电路和 NOT 电路连接而成的。

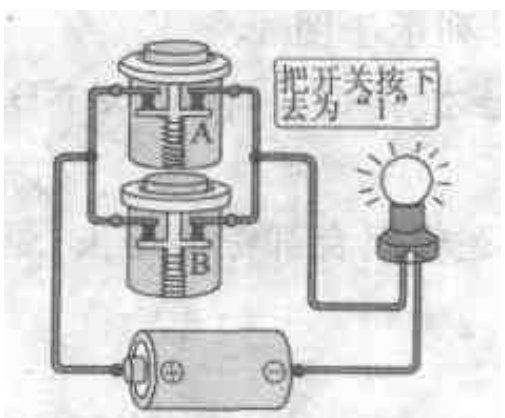


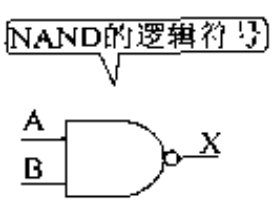
图 1　NAND 电路



图 2　NAND 电路的门"C"信号

表 1　NAND 真值表

输入		门	输出
A	B	C	X
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0



因 NAND 电路是由 AND 电路的 NOT(否定)组成的，所以其输出结果与 AND 电路完全相反。NAND 真值表见表 1 所示。

如图 2 所示，把这一信号流，作为中间有个门"C"的状态来考虑就好理解了。

Ⅲ　利用 IC 的 NAND 电路实验

如图 3 所示，将 IC74LS08(AND)插入 14 脚的插座中，将 74LS04(NOT)插入 16 脚的插座中，1 号管脚的位置一定要对准。因 IC74LS04 是 14 引脚，16 管脚的插座中还剩下 7 号脚与 8 号脚，要用跳线将引线连接起来，作为 14 管脚的插座来用。

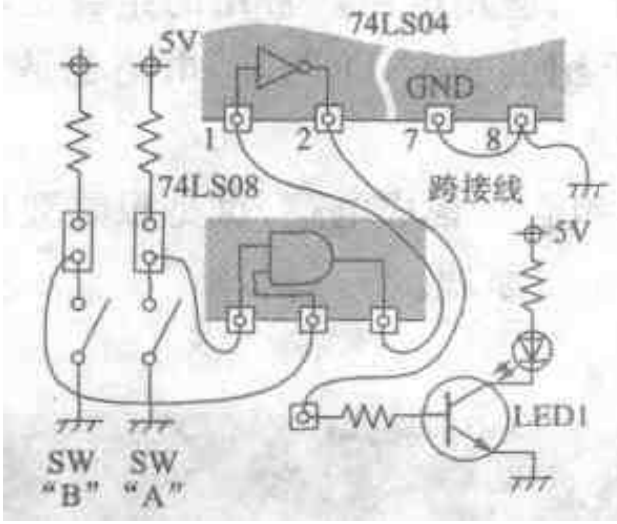


图 3　NAND 组合电路

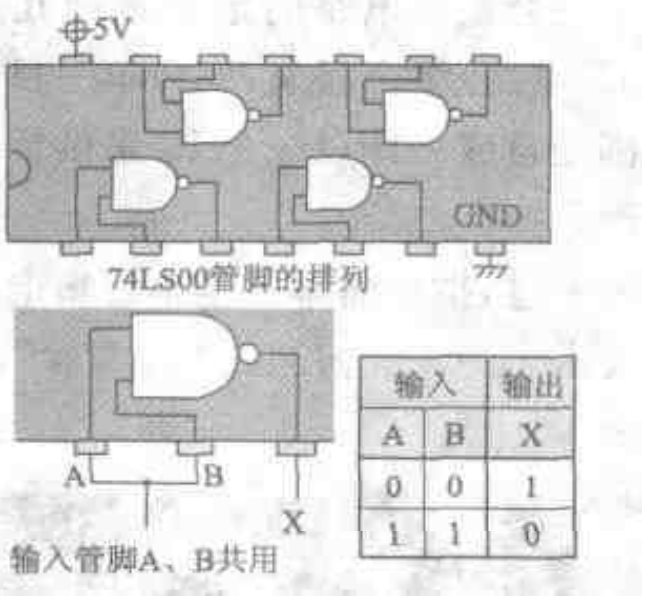


图 4　用 IC 逻辑板的 NOT 电路实验

双输入的 NAND 电路有 74LS00，其管脚排列示于图 1。

只有使这一 IC 的输入信号都为"1"时，输出才为"0"。即当 NAND 电路的输入端子都连通时，才成为非(NOT)电路。

像这样，通过考虑逻辑电路的各种组合，把逻辑组合都考虑进去，逻辑电路 IC 会有许多种使用方法。

Ⅳ　利用 IC 的 NOT 电路实验

将 IC 74LS00 插入 14 脚插座中。将 1 号管脚与 2 号管脚，如图 5 所示用跳

线连接起来作为共同的输入信号。

把来自开关的信号反转,就得到输出信号。这就是所说的 NOT 电路。

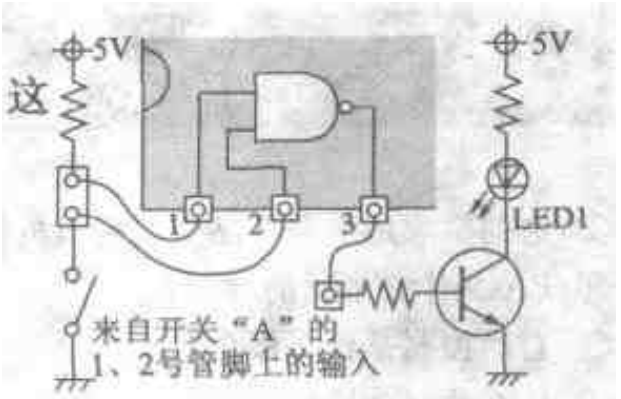


图 5 74LS00(自组)NOT 电路

Ⅴ NOR(或非)电路

如图 6 所示,NOR 电路是由 OR 电路上连接 NOT 电路组成的。NOR 电路的作用由图 7 的开关动作就可以明白,只要有一个开关为"1",输出就为"0"。换句话说,当输入全为"0"时,输出才为"1"。其真值表示于表 2。



图 6 NOR 电路的门"C"信号

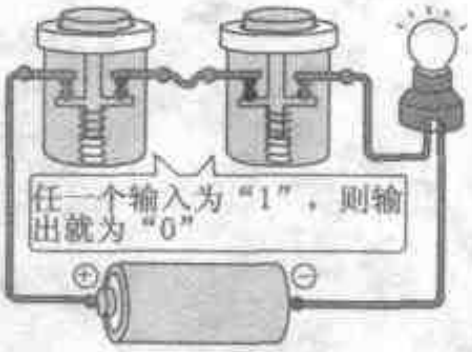
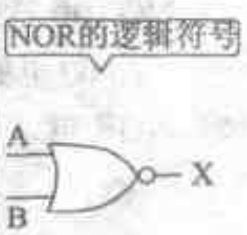


图 7 NOR 电路

表 2 NOR 真值表

输入		门	输出
A	B	C	X
0	0	0	1
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	0



Ⅵ 利用 IC 的 NOR 电路实验

将 74LS32 插入 14 脚插座中,将 IC74LS04 插入 16 脚插座中,7 号脚与 8 号脚用跳接线连接。可用与 NAND 电路实验的相同顺序,确认 NOR 电路的工作状态。

Q 挑战题

① 请列举家用电器产品中使用微机控制的例子。
② FA 是什么术语的缩写?
③ 自动控制是什么概念?
④ 什么是双金属片?
⑤ 控制方式分哪两类?
⑥ 调速机是什么装置?
⑦ 列举顺序控制的例子?
⑧ 计算机控制中,用什么转换控制流程?
⑨ 列举计算机控制的特征。
⑩ 描述计算机的组成。
⑪ 什么是二进制?
⑫ 什么是十六进制?
⑬ 把十进制数"15"用二进制数与十六进制数分别表示。
⑭ 什么是阈值?
⑮ TTL 是什么?
⑯ AND 电路是什么样的电路?
⑰ OR 电路是什么样的电路?
⑱ NOT 电路是什么样的电路?
⑲ NAND 电路是什么样的电路?
⑳ NOR 电路是什么样的电路?

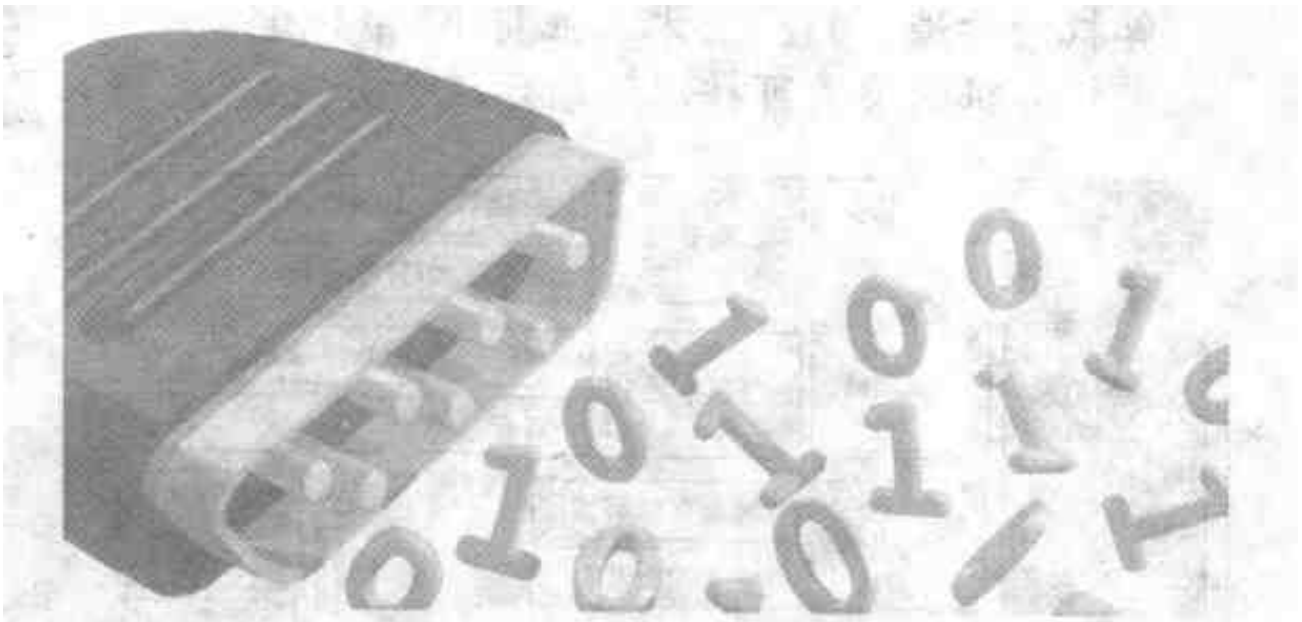


A 答　案

①电饭锅、空调机、电冰箱等。　②Factory Automation。　③参照第 1 节。　④两片膨胀系数不同的金属熔接在一起的制品,热变形。　⑤顺序控制、反馈控制。　⑥参见第 1 节。　⑦交通信号控制器、洗衣机。　⑧变换程序。　⑨参见第 2 节。　⑩由计算机、接口与输入输出部分构成。　⑪用 0 与 1 表示数字大小。　⑫参见第 3 节。　⑬二进制数 1111,十六进制数 F。　⑭即成为状态基准值的电平。　⑮晶体管-晶体管逻辑。　⑯两个以上的输入均为 1 时才产生输出 1,对于其他输入,输出均为 0。　⑰两个以上的输入中任意一个都为 0 时输出才为 0,其他情况均输出 1。　⑱将输入信号反相作为输出。　⑲若任意一个输入为 0,输出为 1,若全部输入为 1,则输出为 0。　⑳仅全部输入为 0 时,输出为 1。

第5章

计算机与接口



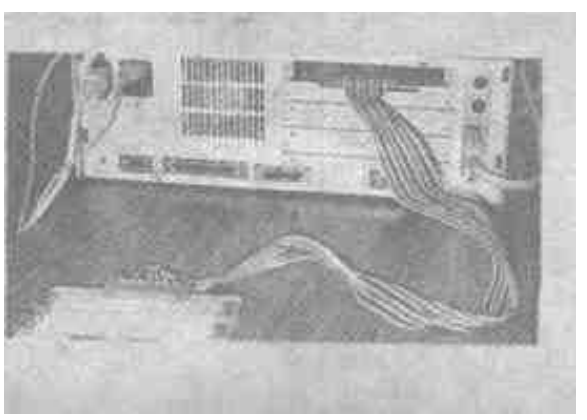
计算机的基础理论与控制

学习计算机控制，一定要学好计算机的结构和与接口的有关知识。最早的计算机是1941年美国的阿塔那索夫的自动二进制计算机，当时的重量是以吨为单位计算的。现在的计算机不但重量很轻，体积也小，相反地性能却有明显的提高。

现在计算机用于文字处理与游戏等领域，从大人到小孩均享受到其益处。同时，手表、电视机、电饭锅、血压计、汽车等我们身边的机械都用到了计算机。在日常生活中，我们不知不觉地在使用着计算机。

计算机具有性能超常、体积很小、价格低廉的特点，已成为控制中不可缺少的装置。在机械设计中，如果控制装置不引入计算机，不仅不能满足用户的要求，而且落后于时代了。

要在计算机上接入控制用的机器，就必须使用接口。接口就是界面的意思，是用于把连接器件的信号调整为能顺利地传送的装置。



在计算机中，连接的接口是接在机箱内部扩展槽上的。数据总线、地址总线、控制总线等相应的端子均必须连接好。

这里用8255接口进行信号传送控制。8255是一个8位并行的输入输出接口。

1 计算机的构造

在学习计算机之前，先简单介绍一下计算机的构造。JIS(日本工业标准)中规定，构成计算机的要素可按以下所示进行分类。





I 处理器(处理装置)

处理器相当于人的大脑，由处理单元与内存组成(参见图 1)。处理器也称

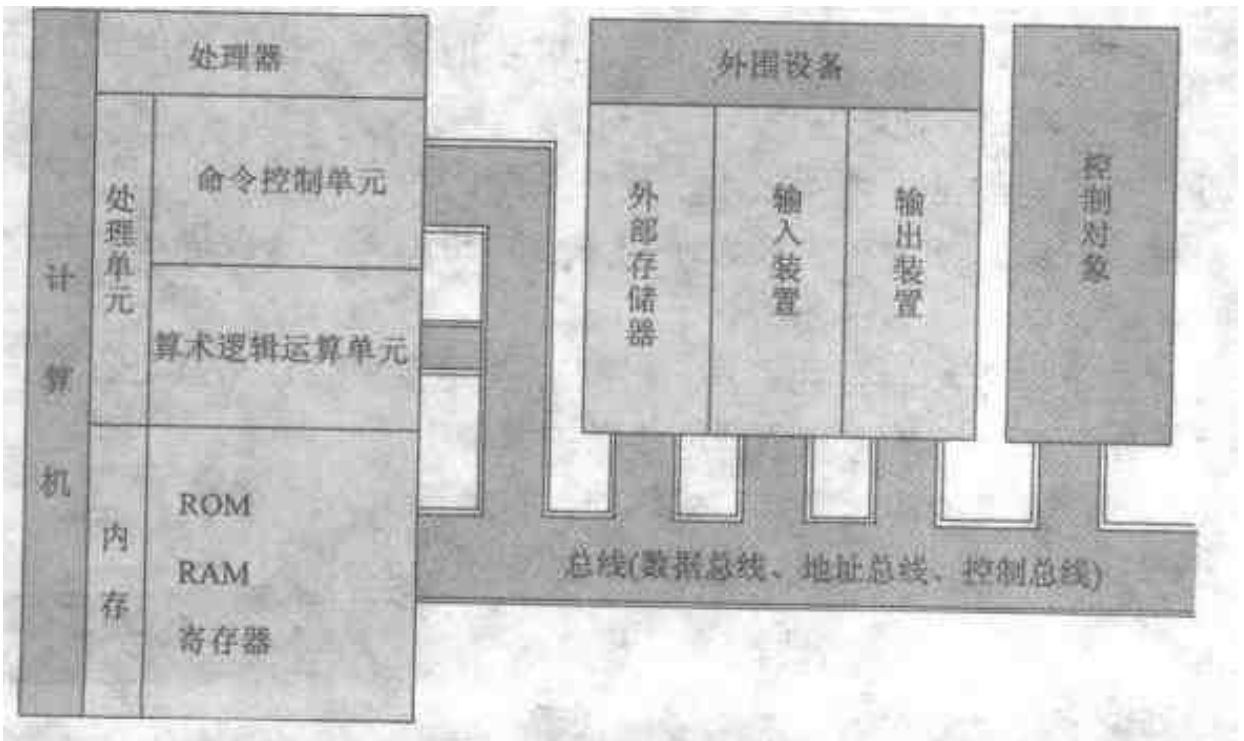


图 1　计算机的构造

中央处理器(CPU),把集成化的中央处理器称为微处理器(MPU)。处理单元由控制单元与运算单元组成,通过总线(BUS)来连接。

① 控制单元

顾名思义,就是控制计算机的单元,它的作用是解释进入内存的程序,根据解释向运算单元或其他单元发出相应的命令,完成计算机所要完成的工作。

② 运算单元

运算单元是根据控制单元的命令进行算术(+、-、×、÷)或逻辑(与、或等)的运算,或作出判断等等,是计算机主要的工作部件。

③ 内存

内存相当人脑的记忆部分,是不通过输入输出通道的存储器,由能存储大量数据的 ROM(read-only memory,只读存储器)或 RAM(readom-access memory,读写存储器),及以一个字(字节)为单位或以一位为单位的临时存储的寄存器等组成。

④ 总线(BUS)

总线是多个装置之间相互连接用的信号线。它不仅连接处理单元内部,也与外围设备等连接,进行数据传送。

数据总线:是传送数据的信号线。数据包括程序、处理数据、输入输出数据等。

地址总线:是传送地址数据的信号线。地址包括存储器地址、集成电路芯片地址等。

控制总线:是传送控制数据的信号线,传送各装置工作用的操作信号等。

Ⅱ 外围设备

是指实际工作中除处理单元外计算机所需要的装置,包括输入输出装置或外部存储器等。

① 输入输出装置

输入输出装置是计算机与人或机器交换数据的装置,包括:

- 输入数据的键盘或鼠标等输入装置。
- 把数据以图像形式显示的显示器(CRT:阴极射线管),或打印机等输出装置。
- 其他与外部交换数据的各种接口等。

② 外部存储器(辅助存储器)

因计算机要处理大量的数据，必须有硬盘与软盘等外部存储器储存数据。

③ 控制对象

计算机的控制对象，一般通过接口连接在处理单元的各种总线上。

PC9801 的扩展槽

用个人计算机进行控制的场合，可使用扩展槽的各种总线插座。PC 9801 系列的个人计算机的扩展槽中，里外合计共有 100 根线的端子插座，其中有数据总线 16 根、地址总线 24 根，以及控制总线、电源线等。根据计算机型号的不同，总线的功能也有所区别，应当根据使用说明书确认其用法(图 1)。

练习题

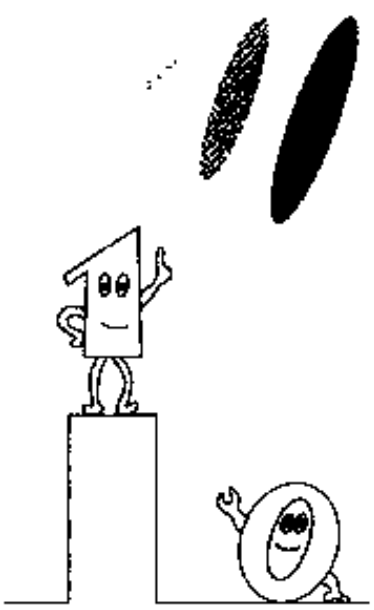
1. 作为计算机的重要部件，即 CPU 部件，是何意？
2. 计算机内外传送数据的线叫什么？
3. 外部存储器有什么必要？
4. 用个人计算机控制的场合，连接在计算机的哪个部分？

解答

1. 处理器(处理装置)
2. 是总线(BUS)，有数据总线、地址总线、控制总线等。
3. 为储存大量的数据。
4. 把输入输出信号连接在个人计算机内部的扩展槽中。

2 计算机的信号(1)

通过计算机各种装置内部与外部的信号有高电平与低电平两种电信号；高电平表示数值1，低电平表示数值0，以这种1与0表示的信号称为数字信号。用这种信号工作的计算机称为数字计算机。现在的计算机，普遍都是指数字计算机。数据总线、地址总线或控制总线等所有总线，都传送数字信号。



Ⅰ 数字信号

信号有数字信号与模拟信号之分，数字信号有“可数”的意思，即意味着可用整数等非连续数值表示的信号。

数字计算机中的数字信号只能用1与0的数值表示，1与0的数字信号可表示出从输入输出信号到程序的所有数据。计算机只处理“1”、“0”这两个基本信号。

Ⅱ 数据总线

用于传送处理数据的总线是数据总线。1根数据总线只传送1、0两种数据。要处理大量的数据，就要增加同时处理信号的总线数量。以4根信号总线为基础，有8根、16根、32根、64根等各种数据总线的计算机。总线根数越多，可同时处理的数据就越多。16根数据总线的计算机，称为16位计算机，32位计算机，则有32根数据总线进行数据处理。

PC 9801 扩展槽

扩展槽的数据总线管脚有16位机型的，也有32位机型的。PC 9801是16只(16位)管脚的，在32位总线机型的场合，可使用低端16位的数据总线。如要增加外部存储器等有必要用到32位的场合，因个人计算机内部有32位的数据总线，所以也可以与该总线管脚连接。

Ⅲ　地址总线

这是传送地址数据的总线，这些地址是存储器的地址或连接各种装置(大规模集成电路LSI)等的地址。计算机系统越大，使用存储器或装置种类越多，地址数也越多。地址总线多时，可使用从16根到32根的总线。

PC 9801 扩展槽

它有24根地址总线管脚，可传送24位地址数据。输入输出(I/O)用的地址为低端16位的也有效。个人计算机内部使用的地址越多，用户所能用的地址就受到限制，应当查阅操作手册或向制造厂查询清楚。

Ⅳ　控制总线

控制总线是信号传送线，用于传送控制计算机内外各种装置所必须的操作信号或装置的状态等信号。

控制总线每根均具有各自的作用，如复位或中断等。控制总线不一定全部使用，仅用所需要的控制信号。必须注意，控制信号1所具有的意义(在正逻辑中，高有效，表示高电平，在负逻辑中，则为低有效，表示低电平。)

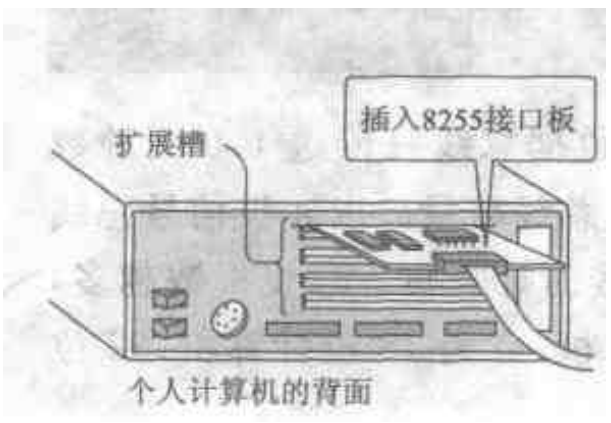


图1　扩展槽

PC 9801 的扩展槽

PC 9801扩展槽中有38只管脚的控制总线，应根据需要连接(参见图1与表1)。要想正确地使用信号，应当向制造厂索取有关硬件的资料。

表4 PC 9801 扩展槽信号一览表(例)

端子序号	信号名称	方向	功能	端子序号	信号名称	方向	功能
A1	GND			B1	GND		
A2	V1			B2	V1		
A3	V2			B3	V2		
A4	AB00	IO	地址总线	B4	DB001	IO	数据总线
A5	AB01	〃	〃	B5	DB011	〃	〃
A6	AB02	〃	〃	B6	DB021	〃	〃
A7	AB031	〃	〃	B7	DB031	〃	〃
A8	AB041	〃	〃	B8	DB041	〃	〃
A9	AB051	〃	〃	B9	DB051	〃	〃
A10	AB061	〃	〃	B10	DB061	〃	〃
A11	GND			B11	GND		
A12	AB071	IO	地址总线	B12	DB071	IO	数据总线
A13	AB081	〃	〃	B13	DB081	〃	〃
A14	AB091	〃	〃	B14	DB091	〃	〃
A15	AB101	〃	〃	B15	DB10	〃	〃
A16	AB111	〃	〃	B16	DB111	〃	〃
A17	AB121	〃	〃	B17	DB121	〃	〃
A18	AB131	〃	〃	B18	DB131	〃	〃
A19	AB141	〃	〃	B19	DB141	〃	〃
A20	AB151	〃	〃	B20	DB151	〃	〃
A21	GND			B21	GND		
A22	AB161	IO	地址总线	B22	+12V		
A23	AB171	〃	〃	B23	+12V		
A24	AB181	〃	〃	B24	IR31	I	INT0
A25	AB191	〃	〃	B25	IR51	I	INT1
A26	AB201	〃	〃	B26	IR6	I	INT2
A27	AB211	〃	〃	B27	IR91	I	INT3(硬盘)
A28	AB221	〃	〃	B28	IR101	I	INT4(640 软盘)
A29	AB231	〃	〃	B29	IR 121	I	INT5
A30	INT0	O		B30	IR 131	I	INT6(鼠标)
A31	GND			B31	GND		
A32	IOCHK0	I	外部 NMI	B32	-12V		
A33	IOR0	IO	命令	B33	-12V		
A34	IOW0	〃	〃	B34	RESET0	O	复位
A35	MRC0	〃	〃	B35	DACK 00	O	5"硬盘
A36	MWC 0	〃	〃	B36	DACK 30	O	AUX
A37	INTA 0	IO		B37	DRQ 00	I	5"硬盘
A38	NOWAIT 0	I		B38	DRQ 30	I	AUX
A39	SALEI	IO		B39	WORD 0	I	
A40	MACS 0	I		B40	EXHRQ 10	I	
A41	GND			B41	GND		
A42	CPUENB 10	IO		B42	EXHLA 10	O	
A43	RFSH 0	O	刷新信号	B43	DMATC 0	O	过程结束
A44	BHE 0	IO		B44	NMI 2	IO	
A45	IORDY 1	I	就绪信号	B45	MWF 0	IO	
A46	SCKL 1	O	9.8304/7.9872MHz	B46	EXHLA 20	O	
A47	S 18 CLK 1	O	307.2kHz	B47	EXHRQ 20	I	
A48	POWER 0	O	电源确认信号	B48	SBUSRQ 1	O	
A49	+5V			B49	+5V		
A50	+5V			B50	-5V		

练习题

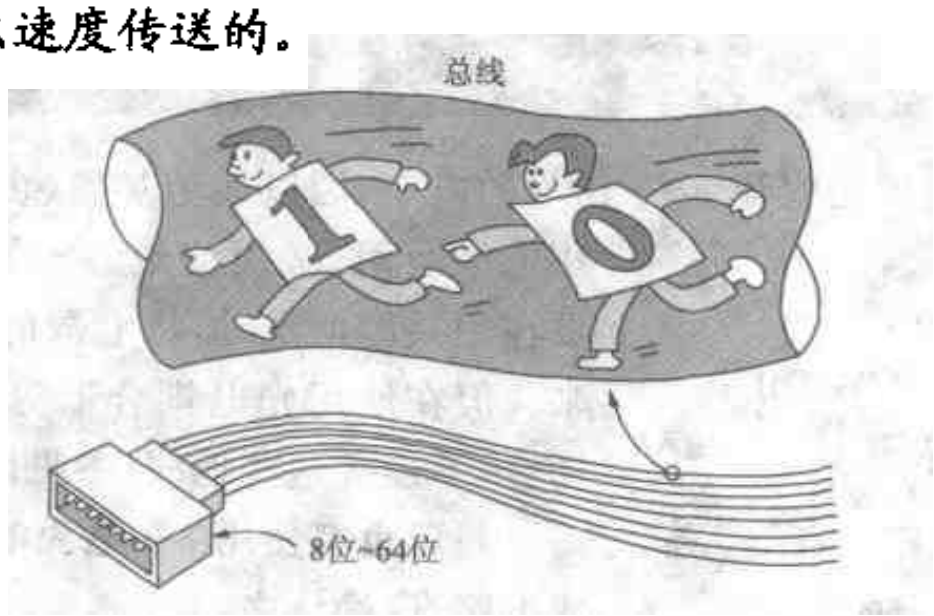
1. 计算机处理的信号是模拟信号还是数字信号?
2. 计算机处理的信号是什么样的电信号?
3. 32 位的计算机,有多少根数据总线?
4. PC 9801 的扩展槽有多根数据总线?

解答

1. 数字信号。
2. 直流 5V 作为电源,信号电压"1"为 5V,"0"为 0V。
3. 32 根。
4. 16 根。

3 计算机的信号(2)

在计算机内外传送的信号，实际上是电信号，探讨一下这是什么样的信号，以什么速度传送的。



I 信号的电气特征

计算机中，流经总线的电信号是电压为 5V 的直流电流，计算机处理的数字信号电压均为：高电平信号 5V；低电平信号 0V。

各电压值的许用值，均符合 TTL IC(晶体管-晶体管逻辑集成电路)的电平，但根据所用的集成电路 IC 的不同，也有用不同电压值的。其标准值如下(详细数据可参见有关个人计算机的硬件资料)：

电平许用值

输入信号

高电平信号＝1　　2.0～5V

低电平信号＝0　　0～0.8V

输出信号

高电平信号＝1　　2.4～5V

低电平信号＝0　　0～0.4V

信号电流的最大值

输入信号	1信号	20μA
	0信号	400μA
输出信号	1信号	−0.4mA
	0信号	8mA

（负的电流表示从IC管脚流出来的电流）

应当记住，计算机内外所流经的信号电流是很微弱的。

Ⅱ　电　源

信号用的电源是直流5V。信号的电平，因以地为基准（负电流），与外部电压电平通用，必须接地。不同电源的场合，也要在用共同信号时，将电源的地线互相连接起来。但在使用光电耦合器等隔离信号连接的场合，不连接这些地线（参见图1）。

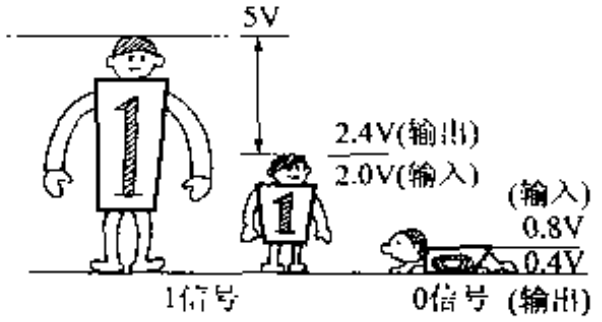


图1　信号的电平

最近也有使用3V电源的微型计算机或集成电路，应确认之。

Ⅲ　处理速度

计算机的处理时间，是以计算机所用的时钟脉冲周期（机器周期）为基准的。例如，时钟频率为10MHz的场合，周期为1/10 000 000（秒）=0.1μs，把它称为1拍（1个机器周期）。处理时间是它乘以倍数所得的值。根据语言或命令的种类不同，处理时间约从数微秒到数百微秒，汇编语言最快，而BASIC语言是边逐行翻译机器原码边执行的，所以很费时间。

因计算机与外围设备的处理时间不同，所以读取信号时，在延时时间上配合不好。为此采用以下方法：使用计算机上的时钟（系统时钟）作为外围设备控制信号的延时时间，来收发数据信号，或采用保持输出状态，使它符合接收方的延时要求。

用PC 9801扩展槽

• 若与外围设备连接线的长度超过某一长度（约500m）时，各总线的信号就会产生噪声或衰减，影响可靠性，必须将信号放大。

• 时钟频率随机型而不同，从 8MHz 到 200MHz 的都有，并且还有两种时钟的机型，应注意处理(参见图 2)。

• 电流管脚用了接地管脚 8 只，5V 管脚 4 只，+12V 管脚 2 只，-12V 管脚 2 只。

电流容量可供接口等作信号电源用，每一槽的 5V 电源约 0.8A，12V 电源约 0.06A，8 个接地管脚相互连接，是公用的(要确认)。

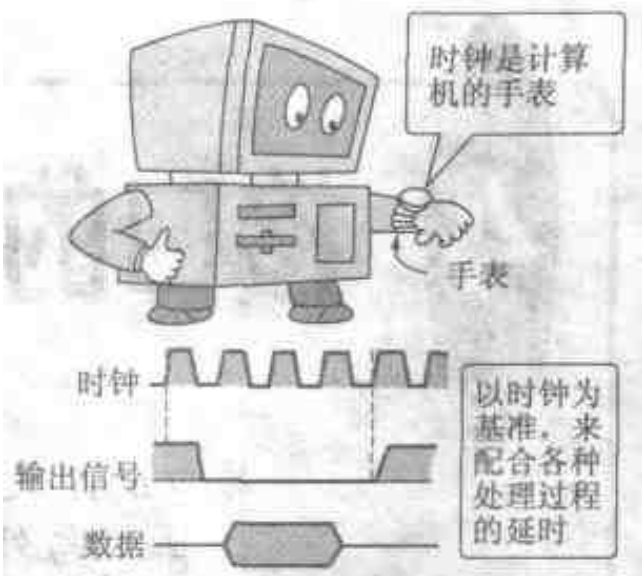


图 2 计算机的时钟

练习题

1. 信号电压的许用值，在输入信号与输出信号之间有区别吗？为什么？
2. 信号电流大约是多少？
3. 计算机的处理时间以什么为基准？
4. PC 9801 的扩展槽引出的电源容量，标准大概是多少？

解答

1. 信号电压的许用值，在输入信号时取宽一些，易于接收。
2. 信号电流为 mA 级到 μA 级。
3. 以计算机所带的时钟为处理时间的基准。
4. 每一个槽的电流容量为 5V 电源约 0.8A，12V 电源为 0.06A，有时根据机型而有所不同，需要确认。

4 接口的定义

接口的定义如下：

计算机与外围设备连接时，用于稳定与调整二者之间信号所必须的装置称为接口。这里介绍有关接口的功能。



1 电气条件的调整

计算机的信号虽然为直流 5V，但所用的各种外围设备的电源有交流 100V 或 200V，直流 12V 或 24V 等，必须对电源的种类与电压或电流等进行调整（参见图 1）。

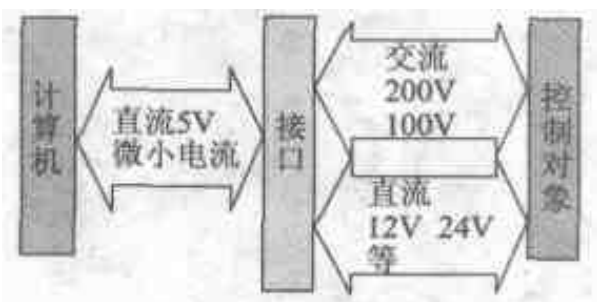


图 1　电气条件的调整

电压的放大或变换

要用计算机输出的信号使外围设备工作，必须使用各种继电器、晶体管或三端双向可控硅等，并用信号电压来驱动晶体管或继电器，以便对不同电压的直流或交流进行变换，还要用放大器等来放大传感器之类微小电压（mV 级）的变化。

电流放大

从计算机输出信号的电流很小，所以要向外部传送信号时，需要用集成电路（74 LS 245 等）或上拉电路等来放大电流，在驱动直流电动机或直流电磁继

电器等时，要用晶体管等来放大。

Ⅱ 信号变换

A/D(模/数)转换

计算机只能处理一连串的数字信号，而外围设备则大多数是处理模拟信号的，必须对相应的信号进行转换，这就是将模拟信号转换为数字信号。要将传感器等的模拟信号输入计算机时，必须进行这种转换。

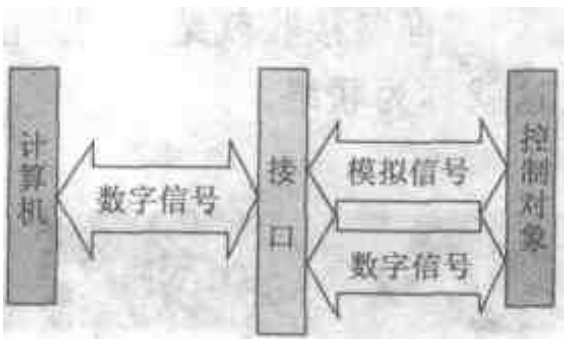


图 2 信号的变换

D/A(数/模)转换

这是将数字信号转换为模拟信号。在一些要连续地控制电动机转速的场合，就要将计算机输出的断续的数字信号转换为外围设备用的连续的模拟信号。

信号波形整形

要将信号波形进行必要的整形(参见图 3)。

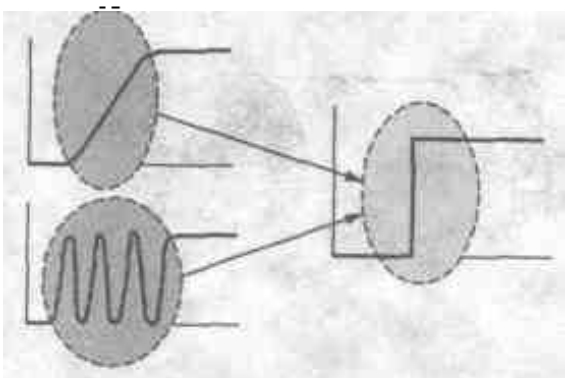


图 3 信号波形的整形

• 波形整形是将信号波形整形为高、低(1、0)分明的信号电压波形。若计算机或数字集成电路的输入信号不在信号电压的允许电压范围内，则不能判断高、低电平。因此要将连续的电压变化波形，整形为断续的波形。并且，抖动的波形是高低反复变化的，所以在耦合不良的情况下，要去除抖动波形。

可用积分电路或施密特触发电路等进行波形整形。

• 想要将瞬时的输入信号变换为有一定宽度的输入波形，或要将连续输入的波形变换为短时的输入波形等，也要用到微分与积分电路。

另外，要将计算机或输入设备来的瞬时信号，暂时保存在寄存器中，也要用到将波形拉宽的方法。

信号交接处理

在信号交接过程中，若发送端与接收端的延迟时间不一致，信号传送就不能进行，为此要使用控制信号，对诸如下列的对话进行信号传送：

“准备接收就绪”　“此信号有效”“正在接收信号”　“信号接收完毕”

这就称为联络。

防止干扰

因为计算机的信号微弱，易受到内外噪声的干扰，所以必须特别注意防止干扰。其对策有防止噪声源的产生，吸收易窜入的电源部分的噪声与防止噪声进入计算机等。

防止噪声干扰的方法有，在电源正极与电源负极(地)之间接入吸收噪声的电容器，或将信号线用光电耦合器等进行电气上的隔离等。但必须注意光电耦合器的信号流方向必须是单方向的。

练习题

1. 接口的主要作用是什么？
2. 为什么必须进行 A/D 转换或 D/A 转换？
3. 为什么必须进行信号波形整形？
4. 什么是信号交接处理？

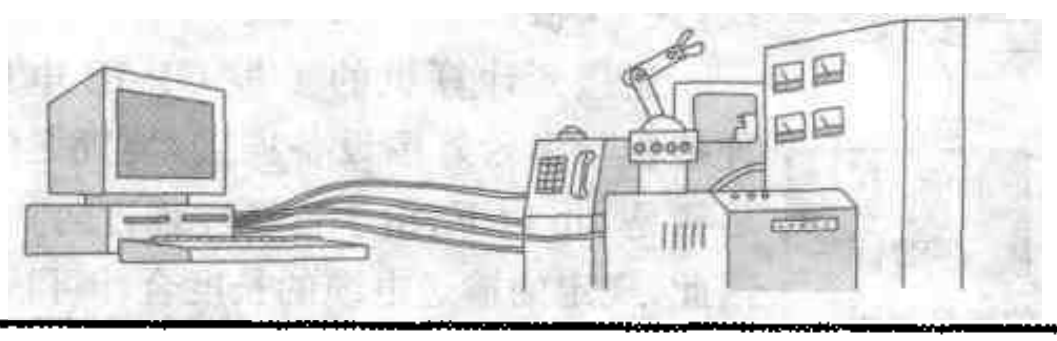


解答

1. 有电压或电流的放大或变换，A/D 或 D/A 等信号变换等。
2. 因计算机只能处理数字信号。
3. 为将计算机等处理的信号整形成为允许电压内的波形。
4. 在传送数据时，为了延时时间的一致，而用控制信号进行对话。

5 数据传输标准与通用接口

计算机的数据传输方法，为使其具有通用性，在标准化方面做了很多工作。现在简单说明一些有代表性的标准。



1 RS-232C 标准

RS-232C 标准是美国电子工业协会(EIA)的串行(串联)数据传输用的数据通信标准，日本工业标准 JIS C6361 中大致采用了同样的标准。几乎所有的个人计算机均以 RS-232C 接口作为标准设置，因此是有代表性的通信标准。

在计算机与控制对象的连接距离长的控制场合，要用 RS-232C(参见图 1)。RS-232C 接口将来自计算机的 8 位并行数据转换为 8 位串行数据，用通信电缆来传输。接收端将收到 8 位串行数据，用 RS-232C 转换为 8 位并行数据输入计算机中。

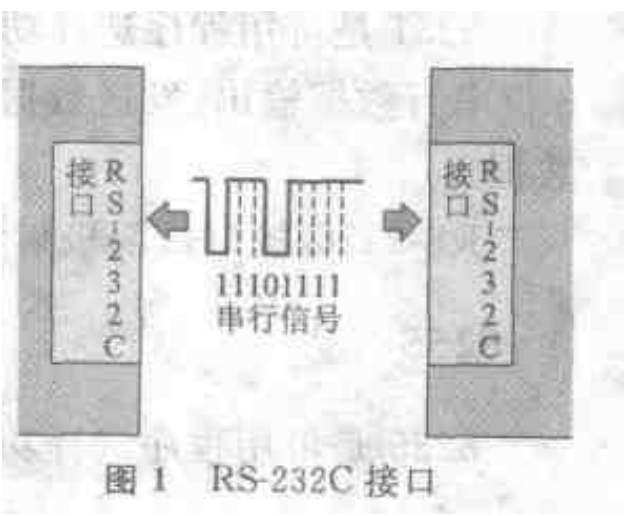


图 1 RS-232C 接口

大多使用 8251 集成电路来进行串并行转换。传输距离最大规定为 15m，实际上 15m 以上的距离也能传输，但距离越长可靠性越差。更长距离的数据传输则应使用 RS 422 接口或 RS 485 接口。

II　GP-IB

GP-IB 是计算机与检测装置或检测装置相互之间传输数据用的 8 位并行接口。GP-IB 是美国 HP 公司取的名称。在美国电气和电子工程师协会(IEEE)标准所规定的名称为 IEEE-488 标准总线。

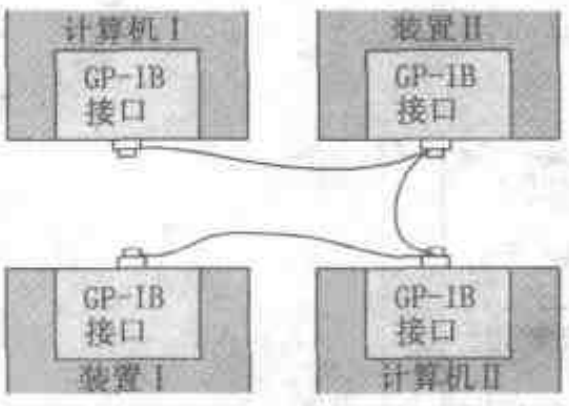


图 2　GP-IB 的连接例子

信号用 TTL 电平，采用负逻辑，信号线有 8 根数据总线、3 根联络总线、5 根管理总线、8 根地线，共 24 根(参见图 2)。

连接到计算机的 1 根 GP-IB 电缆，可经过各种装置与多台外围设备连接，装置之间的传输距离尽管是 4m 以下，由于可经过装置向其他装置传输，因此，规定的输送电缆的长度合计可达 20m，并且连接装置的规定台数包括计算机最多可达 15 台。

III　主要外围接口集成电路(IC)

下面介绍制作计算机接口时常用的 IC。

8251

8251 是可用程序选择功能的串行数据通信 IC。可将 8 位并行数据转换为 8 位串行数据输出、发送数据，同时可将接收到的 8 位串行数据转换为 8 位并行数据。

RS-232C 接口或阴极射线管等的接口等都要用到 8251 IC。

8255

8255 是可用程序选择功能的并行输入输出接口 IC，详见第 6 章的说明。

8259

8259 是中断控制用的 IC。有 8 只中断请求输入管脚，根据用程序规定的优先级别，向计算机提出中断请求。中断请求的输入端子优先级别，中断屏蔽(禁止中断)与中断矢量地址的指定均通过程序进行。中断优先级别与中断屏蔽均可由程序进行实时变更。

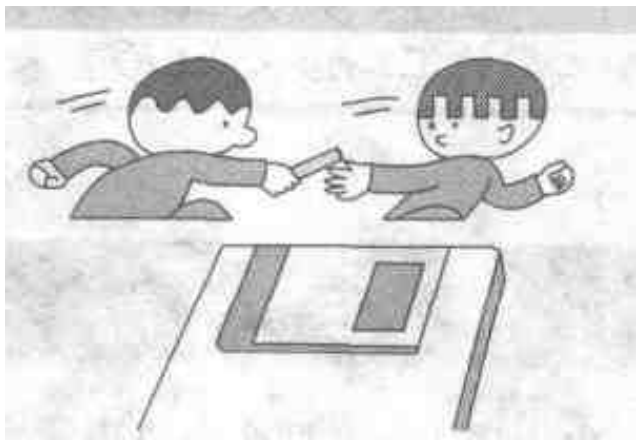
中断的定义为，计算机正在由程序运行的过程中，要通过外部信号来插入另外的运行程序，称为中断。有多个中断时，所用的这一 IC 应当含有优先级别用的中断请求输入端子。

A-D 转换 IC

A-D 转换 IC 是将来自传感器等的模拟信号转换为数字信号的电路所用的 IC，尽管输出的数字信号有并行（并联）与串行（串联）之分，但一般都是用并行（并联）信号。同时，虽然通常用 8 位输出信号作为计算机控制，但为了提高分辨率，也常用更多位数的 A-D。

ADC 0808 等的 ADC08××系列（国际半导体公司），AD7574/7576（模拟器件公司）等，都是各种不同的 8 位 A-D 转换器用集成电路。

练习题



1. RS 232C 是什么标准？
2. GP-IB 是什么标准？
3. 8251 是什么功能的 IC？
4. 8259 是什么功能的 IC？

解答

1. 是串行数据传输用的通信标准。
2. 是并行数据传输用的检测仪器通信标准。与 IEEE-488 标准总线标准相同。
3. 是将 8 位并行数据转换为 8 位串行数据的数据传输通信用的 IC。
4. 是中断控制用的 IC，有 8 只中断输入管脚，根据中断优先级别，向计算机提出中断请求。

6 信号与程序

计算机内外的工作信号是5V、0V的电信号。把5V与0V改为1与0，以（101011100110）形式的数字信号来编制程序，这就称为机器语言。

实际上，不是用机器语言来编程序，而是用与人的语言表示相近的汇编语言或C语言来编程序的。



1 二进制数→十进制数→十六进制数

由于用1与0两个数值表示大的数据时，位数就很多，所以要把二进制数转换为十进制数或十六进制数来使用。

二进制数

3次位	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
2次位	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
1次位	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
0次位	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
十进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
十六进制数	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F

二进制数

只用1与0两个数字记数，全部用完时就向上进位的方法，称为二进制记数法，二进制数的1位数称为1位(比特)。

十六进制数

用0～9与A～F 16种数字，16种全部用完时向上进位的方法称为十六进

制，所表示的数称为十六进制数。

二进制-十进制的转换

人们要用 1 与 0 来编制程序是无法想像的，因此将与十进制相当的二进制数依次用十进制数表示，于是以下的法则成立：

某位是 1 的二进制数，其对应的十进制数是 2 的位号次幂(权)，有多位二进制数为 1 时，对应的十进制数是二进制数为 1 的各个位的权之和。比如：

第 0 位　幂次为 0　$2^0=1$

第 1 位　幂次为 1　$2^1=2$

第 3 位　幂次为 3　$2^3=8$

第 7 位　幂次为 7　$2^7=128$

第 15 位　幂次为 15　$2^{15}=32768$

第 31 位　幂次为 31　$2^{31}=2147483648$

当有多位二进制数为 1 时：

对于 4 位的场合

$(1010)_2=2^3+2^1=10$

$(1111)_2=2^3+2^2+2^1+2^0=8+4+2+1=15$

对于 8 位的场合(参见图 1)

$(10001011)_2=2^7+2^3+2^1+2^0=128+8+2+1=139$

$(11111111)_2=2^7+2^6+2^5+2^4+2^3+2^2+2^1+2^0$

$=128+64+32+16+8+4+2+1=255$

对于 16 位的场合

$(1010110001110011)_2=2^{15}+2^{13}+2^{11}+2^{10}+2^6+2^5+2^4+2+1$

$=32768+8192+2048+1024+64+32+16+2+1$

$=44147$

这样，十六位二进制数可用 5 位十进制数来表示，但是当位数很多时，转换计算量也非常之大，所以用下述的十六进制数转换方法。

二进制-十六进制数转换

4 位二进制数可得到 16 种 1 与 0 的组合，因此就相当于 0～9 的数字值与从 A 到 F 的字母，所以可将每 4 位二进制数用以上 16 种数字中相应的记号之一转换为十六进制数。

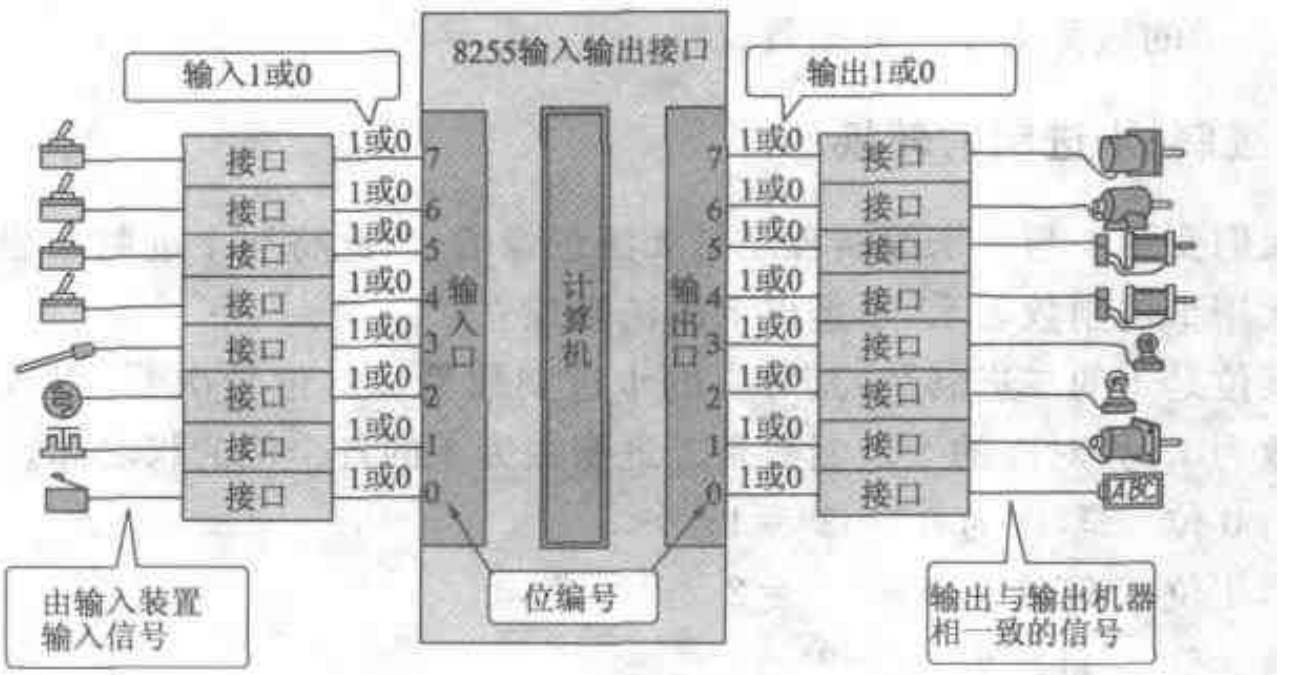


图1　接口与信号

下面给出一些把二进制数转换为十六进制数的例子：

- $(1010)_2=8+2=10=(A)_{16}$
- $(10001011)_2=(1000)_2(1011)_2=(8)(11)=(8B)_{16}$
- $(1010110001110011)_2=(AC73)_{16}$

这样二进制数再增加的话，转换为十六进制数也很简便了。

若知道从第0位到第3位的二进数均为1，其相应权值为1、2、4、8的话，则4位二进制数也可以通过心算算出十六进制数。

计算机控制的场合，与外部连接的各根数据总线都相互独立，可用1(5V)或0(0V)来发出命令或作出判断。在程序命令中，一般用8位或16位的1与0来表示指令，所以用十六进制数处理比较方便。

练习题

1. 用1与0按规则表示的数叫什么数？
2. 为什么要把二进制数转换为十六进制数？
3. 某个位为1时，各自的位值是如何计算的？
4. 把(10100101)，表示为十六进制数是多少？

解答

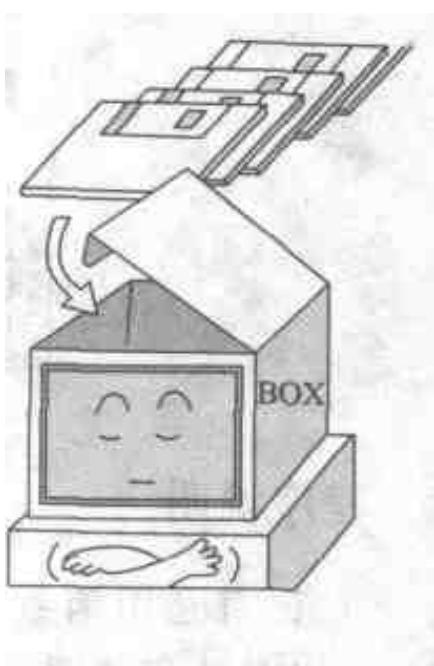
1. 二进制数。
2. 用二进制表示的话，位数太多。
3. 2的位号次幂。
4. $(A5)_{16}$。

7 用于控制的主要程序语言

可以说，没有软件的计算机，只不过是个无用的空机箱，由此可见软件（程序）是多么重要。

程序的本来面目是机器语言，但用机器语言来编制程序是不合适的。要把计算机的各种功能编制为易于理解的语言或函数所组成的程序系统有很多，只要能使计算机工作所用的语言，就称为程序语言。

程序系统是将程序语言编制的程序翻译成机器语言，并变换为电信号存入存储器中。



控制处理用语言主要有汇编语言、C 语言与 BASIC 语言等，这里简单介绍有关控制用的 C 语言。

1 简单的程序例子

尽管这里省略了 C 语言的基本介绍，但对 8255 输入输出接口的各端口，用快速 C 语言编写的输入输出简单程序作出了说明，并给出用 BASIC 语言编写的具有同样功能的程序。

控制动作

当口 A 的 1 号位和 6 号位的管脚输入“1”信号时，从口 B 的 0 号位和 7 号位输出信号“1”。在其他输入信号的情况下，所有位号的输出均为“0”。

输入数据：$(01000010)_2=(42)_{16}$

输出数据：$(10000001)_2=(81)_{16}$

输出数据：$(00000000)_2$ — $(0)_{16}$

C 语言程序

```
1  main ()
2  {
3          unsigned int id;
4          outp(0xd6,0x90);
5          for(; ;)
6          {
7              id=inp(0xd0);
8              if(id= =0x42)
9              {
10                 outp(0xd2,0x81);}
11             }
12             else
13             {
14                 outp(0xd2,0x0);
15             }
16         }
17 }
```

程序说明

C 语言是用函数来组成程序的。并且 C 语言不带 BASIC 程序所用的行号，但此处为了说明方便，还是附加了行号。

1. 函数名 main()是主函数，内容为 2 行到 7 行。

3. 变量 id 为无(+ −)符号的 16 位整型变量，输入输出均不要带(+ −)符号，使用共计 16 位的数据。

用符号";"来结束命令。

4. outp()是输出命令函数。

CW 寄存器(地址$(D6)_{16}$)中，把 CW 数据$(90)_{16}$作为输出命令，地址或数据用十进制数、十六进制数或变量均可，用十六进制数时，要在前面加 0x。

5. 无条件跳转(循环控制)语句。

无条件地在第 6 行与第 16 行之间进行无限次反复执行(实际上是需要有跳出循环圈的程序的)。

7. inp()是输入命令函数。

在变量 id 中代入 I1 A(地址$(D0)_{16}$)的输入数据。

8. 条件分支控制语句。

当变量 id 的值等于$(12)_{16}$时，执行第 9 行与第 11 行之间的命令，其他情况下均执行 else 后面的第 12 行与第 14 行之间的命令。

10. 14 是输出命令函数，输出 I1 B(地址$(D2)_{16}$)上的各个数据(参见图 1)。

BASIC 语言的例子

与 C 语言同样功能的 BASIC 语言程序如下。

```
10  OUT  &HD6, &H90
20  I=INP (&HD 0)
30  IF  I=&H42  THEN 40     ELSE70
40  OUT  &HD2,&H81
50  GOTO  20
60  OUT  &HD2,&H 0
70  GOTO  20
80  END
```

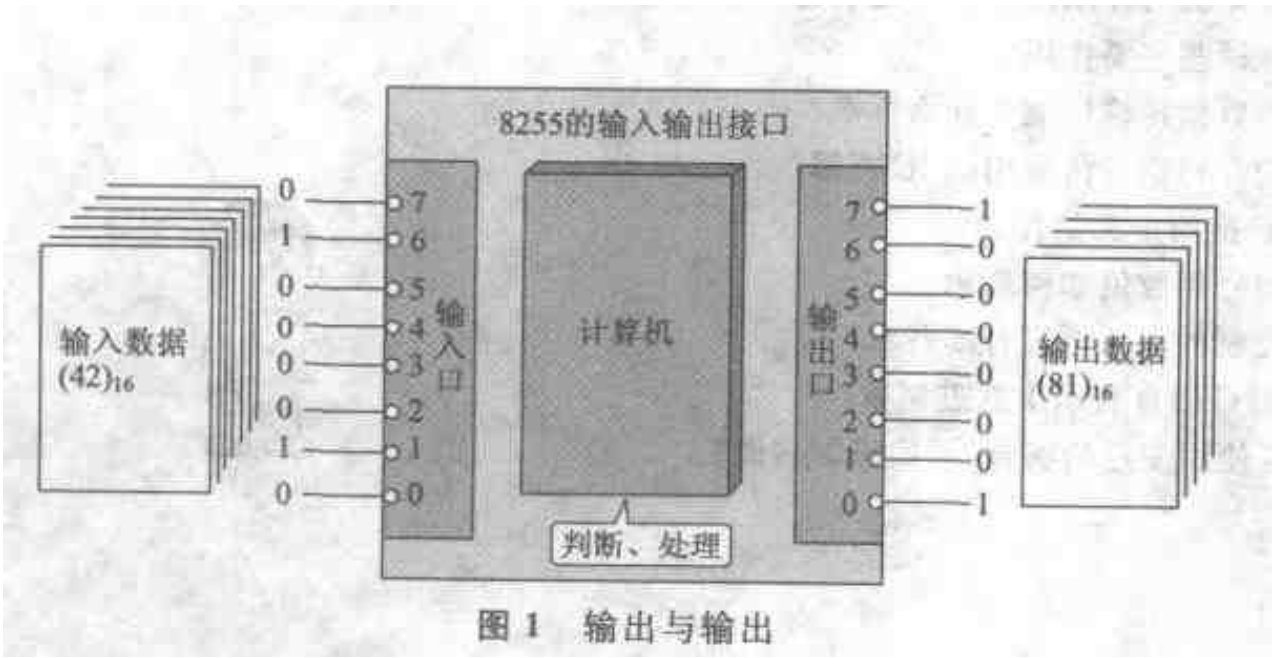


图 1 输出与输出

练习题



1. C 语言如何标记十六进制数的数值？
2. 什么是把数据往指定输出口输出的函数？
3. 什么是把数据往指定输入口输入的函数？
4. for(;;)是什么函数？

解答

1. 前面带 0x。
2. outp()函数。
3. inp()函数，把输入数据代入变量中。
4. 无继续条件时的 for 语句，在{}之间执行无限次循环。

Q 挑战选择题

① 计算机是由什么构成的?
② 计算机的心脏常称 CPU,由什么组成?
③ 计算机内外信号的传输线是什么名称?
④ 计算机的控制信号是什么信号?
⑤ 个人计算机的各种总线用什么方法与外部连接?
⑥ PC 9801 扩展槽的数据总线是多少位的?
⑦ PC 9801 扩展槽用 5V 时每个槽是用多少安[A]的电流?
⑧ 用计算机处理数据信号的电流大约是多大?
⑨ 计算机的处理时间是以什么为基准的?
⑩ 调整计算机与外围设备信号的装置叫什么名称?
⑪ 接口有哪些主要作用?
⑫ 通用的数据传输标准是什么标准?
⑬ 常用的并行信号传输用的 IC 有哪些?
⑭ A/D 转换的定义是什么?
⑮ 数字信号用数值如何表示?
⑯ 用于控制的主要语言有哪些?
⑰ 如何用 C 语言表示十六进制数?
⑱ C 语言使用变量的场合,开始该怎么做?

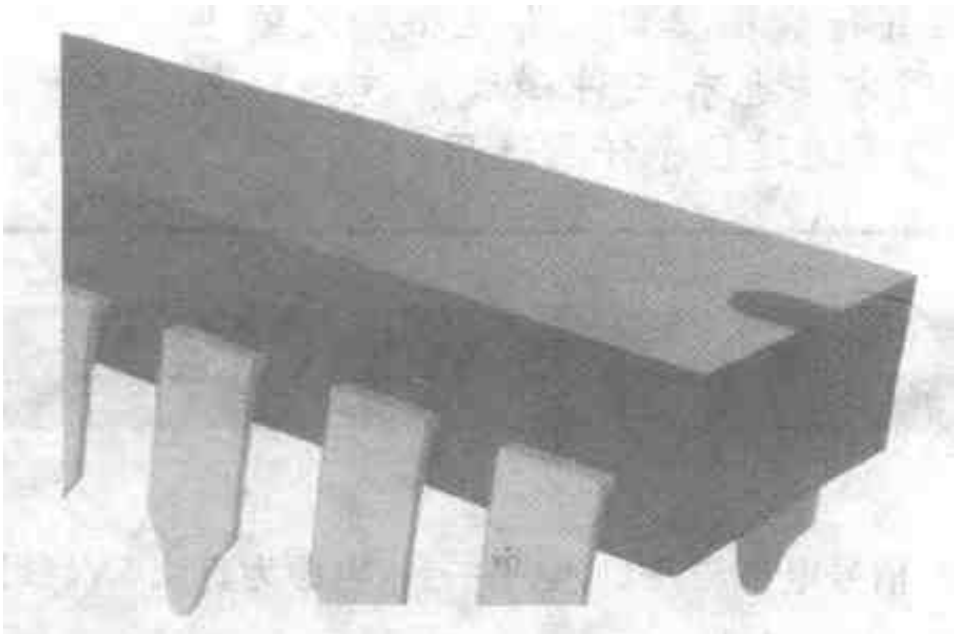


A 答　案

①命令控制单元、算术逻辑运算单元、存储装置、输入输出装置等等。　②由称为处理器或处理单元、命令控制单元与算术逻辑运算单元构成。　③总线,有数据总线、地址总线、控制总线。　④是电压为 5V 与 0V 的数字信号。　⑤从扩展的总线连接引出。　⑥是 16 位,32 位个人计算机,也用低端 16 位。　⑦是 0.8A,只用于接口电路等的电源。　⑧与 TTL 的电平一致,是从数毫安到数十微安的微小电流。　⑨是计算机用的时钟周期。　⑩称为接口。　⑪电流放大或交直流变换等电气条件的调整。　⑫是 RS-232C 标准、GP-IB 标准等。　⑬是 8255。　⑭是将模拟信号转换为数字信号用的。　⑮用电气信号 5V 表示"1",0V 表示"0",再用十进制数或十六进制数表示。　⑯汇编语言、C 语言、BASIC 语言等。　⑰数值的前面加 0x。　⑱要先进行类型声明。

第6章

输入输出装置与接口



制作接口的好方法

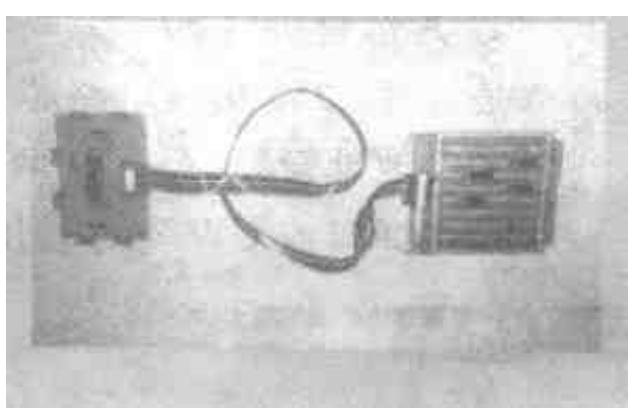
要启动电动机等的场合，操作者用手指操作开关，启动电动机。机械是否正常运行着，要靠耳闻目睹来判断机械的状态。

那么，计算机是怎样使接点动作、启动电动机，使灯亮起来，还要检测周围的状态呢?

本章将介绍关于计算机控制基础的有关知识，即把开关或传感器的信号输入计算机，为了操作机械所需的信号的输出等方法，以及计算机的基本输入输出设备与有关接口等知识。

我们已经学习过，计算机的各种总线不仅可以直接连接到输入输出装置上，还可以通过接口来连接。这里介绍一下通过8255连接的输入输出接口，各种输入输出装置专用接口的连接方法。

8255是最常用的输入输出接口，它有三个输入输出口，对应状况的使用条件可通过程序来变更。为了理解这种接口，让我们从制作接口板开始，一直到利用程序进行最终检验，学习全部过程。同时学习一些与接口有关的计算机基本知识，如用开关或传感器，把信号输入到计算机，把信号输出到电动机等执行装置，或控制指示灯所用的接口上，制作用个人计算机处理的简单的输入输出接口等。



1 8255输入输出接口管脚与使用模式

8255是用8086系列微处理器设计的最常用的8位并行数据接口，有三个输入输出口。其使用方法也有三种模式，这些口与使用模式均可通过程序任意选用。

I　8255 IC 的管脚

8255 共有 40 只管脚，信号电平与 TTL 电平一致，电源为直流 5V(参见图 1)。

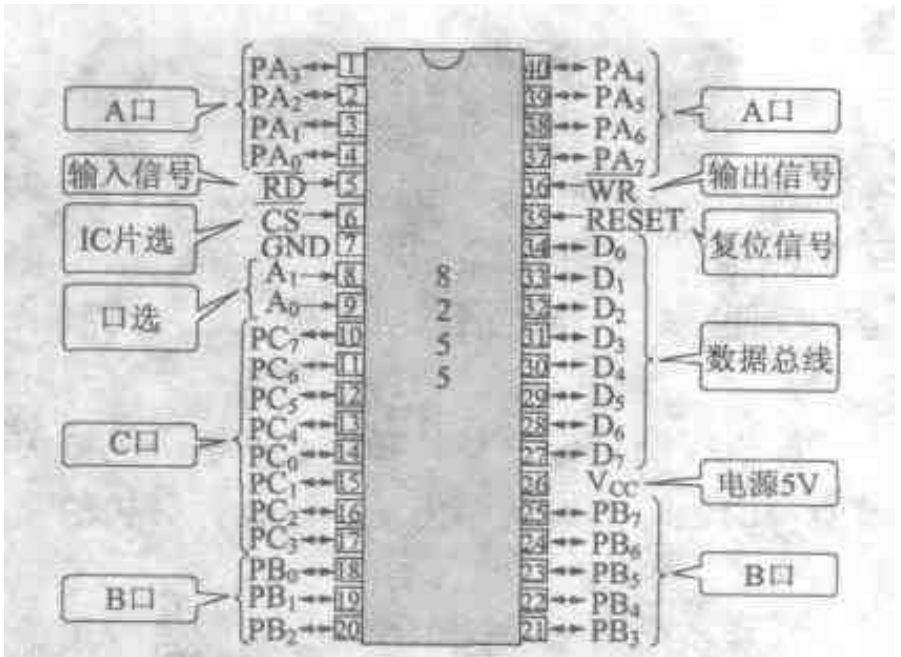


图 1　8255 的管脚

① 数据总线管脚($D_0 \sim D_7$ 8 只)

与计算机端的 8 位数据总线连接，是进行数据传输的 8 只管脚。

② 片选管脚(CS)

是选择 8255 集成电路芯片的信号输入管脚，以“0”信号驱动。

③口地址管脚(A_0，A_1 两只)

是选择口或 CW 寄存器用的信号输入管脚。

④ **读入数据信号管脚**(RD)

一发出输入命令,此脚上就输入"0"信号,就将指定口的输入数据通过数据总线传输到计算机中。

⑤ **写数据信号的管脚**(WR)

一发出输出命令,此脚上就输入"0"信号,就将来自计算机的输出数据输出到指定的口上。

⑥ **复位管脚**(RESET)

若此脚输入"1"信号,则 IC 片内的寄存器就清零。

①～⑥管脚均与计算机连接。

⑦ **电源管脚**(V_{CC}、地)

IC 的驱动电源,有电源正极管脚(V_{CC})与接地管脚(GND)。V_{CC}管脚为直流 5V。电源最大使用电流为 120mA。与电源连接时,必须注意电压是否稳定与干扰情况。同时,为了使信号电压的电平一致,计算机与外围设备的接地线必须连接,但采用光电隔离型的场合,不必连接。

⑧ **输入输出口管脚**

数据输入输出用的管脚是 A 口(PA_0～PA_7)、B 口(PB_0～PB_7)、C 口(PC_0～PC_7)各 8 只,共 24 只。C 口有时也作为控制信号管脚用。

Ⅱ　口的使用方式

口有模式 0、模式 1 与模式 2 三种使用方式,通过设定 CW(控制字)来选择口的使用方式,并把它输出到 8255IC 的 CW 寄存器中。

① **模式 0**

这是基本的使用方式,将 A 口、B 口、C 口设定为输入口或输出口。不能把一个口既作为输入口又作为输出口用。C 口的高四位与低四位则可分别使用。

可将输出数据保持(锁定)在口寄存器中,直到有下一个数据到来为止。输入数据则不予保持。

② **模式 1**

这是单向联络模式,在数据的传送过程中,联络上控制信号,就可取得数据输入输出的延时(参见图 2)。

将 A 口与 B 口设置为输入或输出口,用 C 口的 PC_0～PC_2 三位作为 B 口的控制信号,PC_3～PC_7 作为 A 口的控制信号(参见图 2 和图 3)。

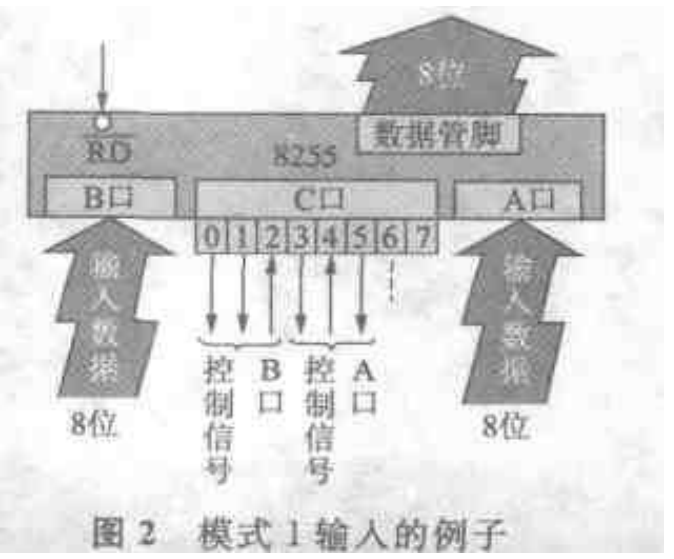


图 2　模式 1 输入的例子

② 模式 2

这是双向联络方式，将 A 口作为输入输出口，将 C 口的高端开始的 5 位作为控制信号使用(参见图 4)。

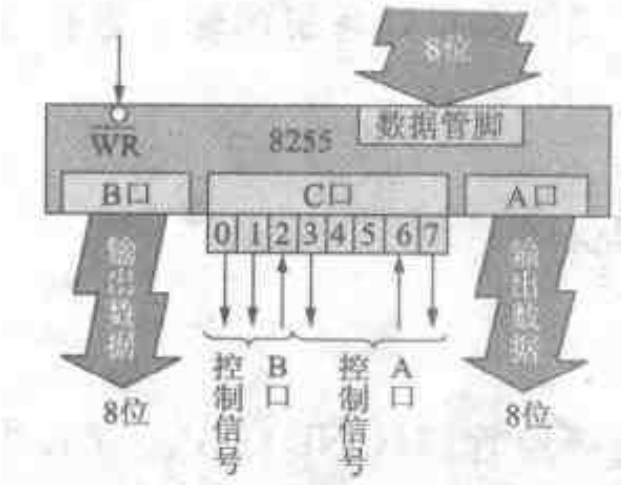


图 3　模式 1 输出的例子

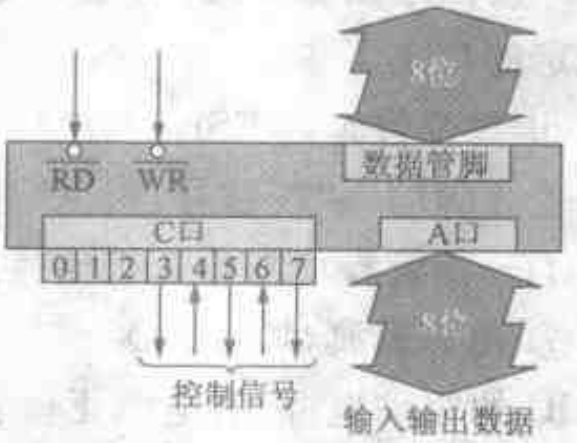


图 4　模式 2 的输入输出例子

练习题

1. 8255IC 的电源是几伏？
2. 与计算机端连接的数据线有多少根？
3. 模式 0 中，将口的数据输出的场合，在下一数据输出之前，口的管脚状态是什么样的？
4. 模式 1 的联络控制信号是从哪个口输出的？

解答

1. 是直流 5V，最大电源电流标准是 120mA 左右。
2. 因要交换并行 8 位数据，所以是 8 根总线。
3. 输出口中一直保存数据，到下一个数据输出之前，该数据一直处于输出状态。
4. 是 C 口。

2 试制8255输入输出接口板(1)

在个人计算机PC9801扩展槽中，插入8255接口板，并制作与外部机器连接输入输出口用的接口板，两块板之间用28线扁平电缆连接。

Ⅰ 个人计算机与连接条件

① 数据总线采用扩展槽的数据总线管脚的低端 8 位。

② 地址总线采用扩展槽的地址总线管脚的低端 8 位。

因使用低端的 8 位数据、地址成为偶数号单元。用户能开始使用的地址设定如下：

A 口：$(D_0)_{16}=(11010000)_2$　　B 口：$(D_2)_{16}=(11010010)_2$

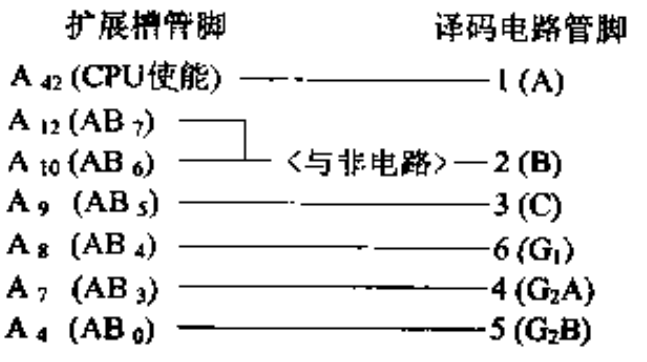
C 口：$(D_4)_{16}=(11010100)_2$　　CW 寄存器$(D_6)_{16}=(11010110)_2$

Ⅱ 8255 接口板

在 PC 9801 扩展槽专用的通用印制电路板中，对 8255 译码电路、与非门电路等 IC 集成电路进行配线。

① 有关地址的连接

在扩展槽地址总线的低端 8 位中，把可变化的 AB_1 与 AB_2 和 8255 端的口地址选择管脚 A_0、A_1 相连接，即可选择指定的口。



将低端其余 6 位地址总线与 CPU 使能(ENB)信号接到所用的译码电路(74 LS 138)及与非电路(74 LS 00)上，其对应的连接关系如下：

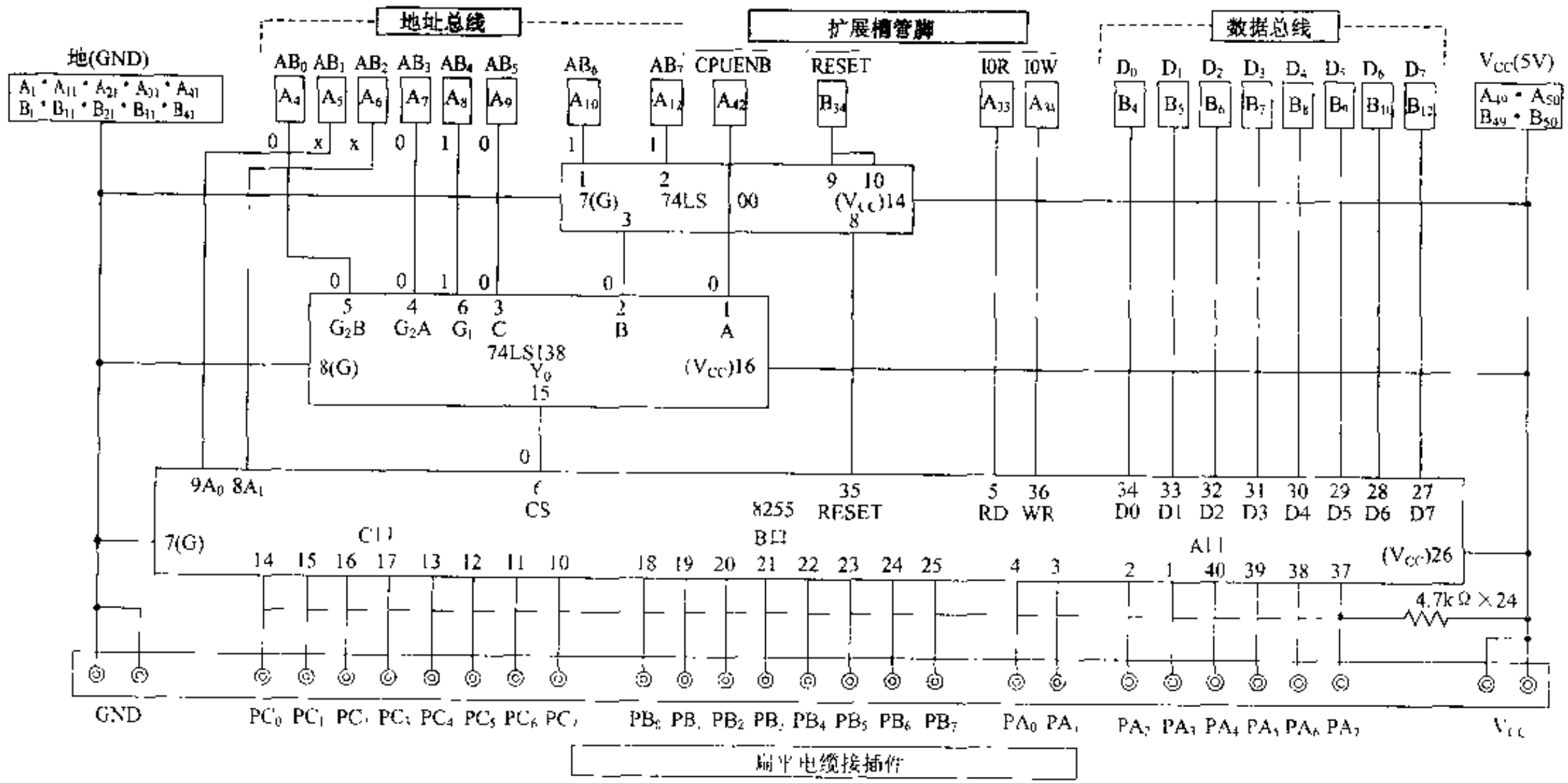


图 1 8255接口板电路

然后，将译码电路的输出管脚 Y_0 连接到 8255 的 CS(片选)管脚(低电平有效)。

当端口地址 $(11010XX0)_2$ 上，CPU 使能信号(ENB)为"0"时，译码电路输出脚 Y_0 的输出信号成为"0"，输入到 CS 端，以驱动 8255 集成电路。CPU 的使能信号，是观察处理单元(处理器)是否占用数据总线的控制信号。

② 数据总线

扩展槽 16 位数据总线的低端 8 位连接到 8255 的 8 位数据总线管脚上。

③ 复位信号的连接

因计算机端的复位信号为低电平有效，而 8255 端的复位信号为高电平有效，因此复位管脚之间的连接要在中间接入反相电路(①中的与非电路)。

④ 写(WR)管脚、读(RD)管脚的连接

将扩展槽的 IOR(读)管脚与 8255 的 RD 管脚连接，IOW(写)管脚与 8255 的 WR 管脚连接。

⑤ 电源的连接

8255IC 的电源使用扩展槽的电源，5V 电源线的 4 只管脚与地线的 10 只管脚均设置在各自的基板上，为防止噪声干扰，在 IC 电源管脚附近与扩展槽的连接电源的端子附近接入电容器。

⑥ 口数据总线(参见图 1)

8255 的各输入输出口管脚，用扁平电缆与外部的输入输出口所用的板连接。

为便于连接放大电路，将 4.7kΩ 的电阻接在电源与各数据总线上(上拉电阻)。

⑦ 扁平电缆接插件管脚

将数据总线与输入输出板连接。

练习题

1. 为什么口地址是偶数号？
2. 为什么要将扩展槽地址总线的 AB_1，AB_2 接到 8255 的 A_0 与 A_1 上？
3. 为什么使用 CPUENB 信号？
4. 为什么要在 IC 的电源管脚等处接入电容器？

解答

1. 是从 32 位或 16 位数据总线的低端 8 位得到的地址。
2. 为了改变用二进制数表示的偶数号口地址 A_1 与 A_2 的值。
3. 为了用来自处理单元的命令确认是否在使用数据总线。
4. 为了吸收噪声。

3 试制8255输入输出接口板(2)

1 输入输出接口板

这是将外围设备连接到带 A 口、B 口与 C 口的输入输出接插件的接口板。输入输出接插件分为高位管脚和低位管脚，每一接插件有口数据管脚 4 只，5V 电源管脚及接地管脚共 6 只。配置情况如图 1 所示。因为板上没有信号放大，

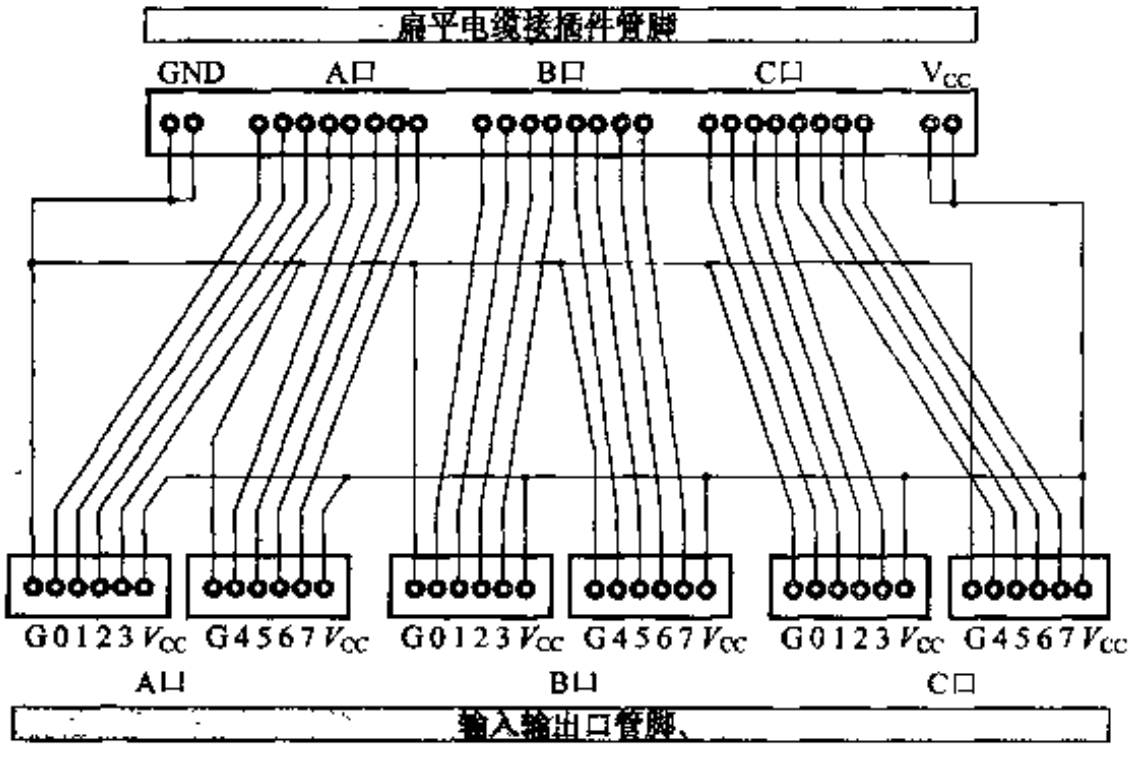


图 1　输入输出用接口板

所以由口接插件到外围设备的连接线应当尽可能短，如果需要连接线长到某一长度的话，则必须带放大电路。

5V 电源的一个扩展槽，最大只能用 0.8A 的电流，这一电流是供给控制电路或信号放大电路用的，外围设备最好使用其他的电源。

Ⅱ　8255 输入输出板的检验

若没有检验 8255 输入输出板的工作是否正常的话，是不能使用的，否则因错误的接线会造成损坏个人计算机的大事故。

焊点的检验

使用放大镜等对焊点是否合适，是否接触到其他管脚等进行检验，焊接不良的焊点应当补焊。

短路的检验

检验电子器件管脚或配线有无短路。短路的原因往往不明显，检查时必须多注意，尤其要彻底检查电源有无短路，电源不仅有 5V 的，还有 12V 的。

配线检验

是否已按配线图配线，要用万用表等进行检验。虽然麻烦，但必须有耐心地做好检验工作。尤其要注意 IC 的管脚有否搞错。

插座管脚面的检验

对插入扩展槽的管脚面上的焊点是否饱满，有无焊油等污染进行检验，并进行清理等，使管脚面整齐、美观。绝缘不良往往是产生噪声的根源，所以必须从里外两面进行检验。

用程序来检验功能

将接口板安装到个人计算机的扩展槽中，用程序进行输入输出检验。

在 A、B、C 各口上，用从$(0)_{16}$到$(FF)_{16}$为止的数据，依次输出，将当时口的输入数据与输出数据相比较，若全部相同的话，则可判断为功能正常。

同时，也可以对连接在各口上的输入输出装置，如发光二极管或开关等进行检验。

检验程序

```
/*8255接口板的硬件检验*/
#include〈stdio.h〉
main (  )
{
    unsigned int a, aid, bid, cid,od;
    printf ("￥x 1b ［2j"］ );
    outp (0xd6, 0x80);
    for (od=0x0;od〈=0xff;od+=0x1)
     {
        outp(0xd0,od);aid=inp(0xd0);
        outp(0xd2,od);bid=inp(0xd2);
        outp(0xd3,od);aid=inp(0xd3);
        printf("输出%X￥n"，od);
        printf("输入%x%x%x￥n"，aid,bid,cid);
        if(aid==od‖bid=od‖cid==od)
        {
        }
        else
        {
            printf("I/O错误￥t");
            goto brk;
        }
    }
    printf("￥nOK￥n");
brk:;
}
```

练习题

1. 用输入输出接口板进行信号放大的场合，使用什么电路？
2. 吸收噪声用的电容器接在什么地方？
3. 制作好的电路板，必须进行哪些检验？
4. 用程序检验能检验什么功能？

解答

1. 可用通过接到电源的电阻与数据总线连接的上拉电路。
2. 接在扁平电缆接插件的电源附近。
3. 应对焊点是否良好、短路(特别是与电源)、接线错误、插座的管脚面等进行检验。
4. 对各口上的输入输出进行检验。

4 8位发光二极管的点灯电路

发光二极管的点灯电路用于确认8位口的各位所输出的数据。

先考察一下用来自8255信号的发光二极管点灯电路。

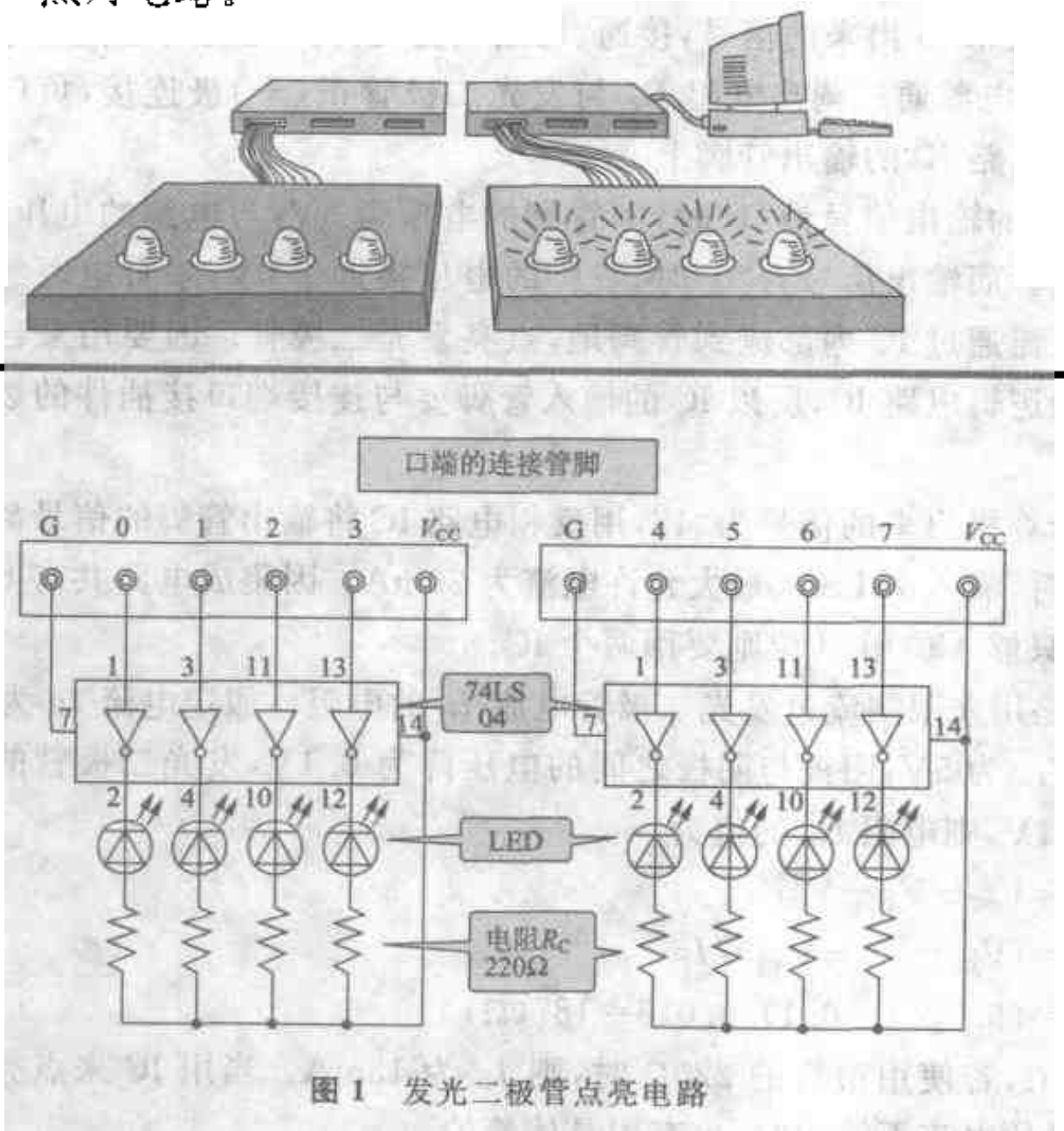


图1　发光二极管点亮电路

所用发光光二极管的主要规格

型号：TLR113A(东芝)GdP(磷化镉)

最大电流：I_F=20mA。

标准正向电压：V_F =2.1V。

推荐工作电流：I_F =10～15mA。

发光强度(轴向)=3.5mcd(I_F=15mA)。

信号"1"时的输出口的电流

由于上拉的电流约为 1mA，来自 8255IC 的电流最大为 4mA 的话，则 8255 接口板上的信号为"1"时的输出电流为 5mA。但要让发光二极管点亮的电流需要 10～15mA 左右，所以不能将信号电流直接用于亮灯。

使用逻辑电路 IC 的发光二极管电路(参见图 1)

利用从 8255 出来的信号，接通、切断电流的开关上使用逻辑电路 IC。如图 1 所示，5V 电源通过调整电阻 R_c 与发光二极管正(+)极连接，负(-)极则连接到逻辑电路 IC 的输出管脚上。

当 IC 的输出信号为"1"时，则管脚的电压为 5V，与电源的电压相等，没有电流流过。而输出信号为"0"时，管脚的电压接近于 0V，来自电源经过发光二极管的电流通过 IC 内部流到管脚地，点亮发光二极管。因要用来自计算机的信号驱动逻辑电路 IC，所以 IC 的输入管脚要与连接端口接插件的数据管脚相连接。

从计算机出来的信号为"1"，用反相电路 IC 将输出管脚的信号翻转为"0"。"0"信号时，流入 74LS04 最大允许电流为 20mA。因集成电路共有 6 只输入管脚，所以只够 4 位用，8 位则要用两个 IC。

R_c 是用来限制流过发光二极管电流 I_F 的电阻。假定电流 I_F 为 15mA，电源电压 V_{CC} 为 5V，阳极与阴极之间的电压降为 0.1V，发光二极管的发光电压 V_F 为 2.1V，则电阻 R_c 的值为

$$V_{cc}=V_{cc}-V_F-V_{ad}$$

$$R_c=(V_{cc}-V_F-V_{ad})/I_F$$

$$=(5-2.1-0.1)/0.015=187(\Omega)$$

需要 187Ω，若使用市售的 220Ω 时，则 I_F 为 13mA。当用 IC 来点亮发光二极管所流过的电流不够用时，也有用晶体管的。

简单的亮灯程序

C 语言是不带行号的，下面给出的程序中加上行号是为了便于说明。

```
1  main ()
2  {
3        unsigned int n;
4        outp(0xd6,0x90);
5        for(; ;)
6        {
7           printf("亮灯数据n=");
8           scanf("%x",&n);
9           outp(0xd2,n)
10       }
11 }
```

程序说明

这是由键盘输入的十六进制数来使发光二极管点亮的程序。程序中各行的意义如下：

3. 变量 n 是无符号整型变量。

4. 将 CW(控制字)数据$(90)_{16}$输出到 CW 寄存器(地址$(D6)_{16}$)中的命令。设置 A 口为输入口，B 口与 C 口为输出口。

5. 执行第 6 行到第 10 行间的无限循环。

7. 显示屏上的“亮灯数据 n=”。

8. 通过键盘，将十六进制的亮灯数据输入到变量 n 中。

9. 将键入的变量 n 之值，输出到 B 口(地址$(D2)_{16}$)。这是用于发光二极管亮灯电路输出练习用的很方便的电路。

练习题

1. 使发光二极管亮灯要多大的电流？信号电流可以亮灯吗？
2. 使发光二极管发光的电压是多大？
3. 发光二极管电路的电阻是干什么用的？
4. 发光二极管亮灯电路的反相电路有何作用？

解答

1. 根据种类不同而不同，约 10～20mA 左右。
2. 根据种类不同而不同，约 2V 左右。
3. 限制流经发光二极管的电流。
4. 接通、切断流经发光二极管的电流。

5 开关用接口电路

开关用接口电路的定义是，将开关的输入信号变换为计算机能处理的信号的输入电路。

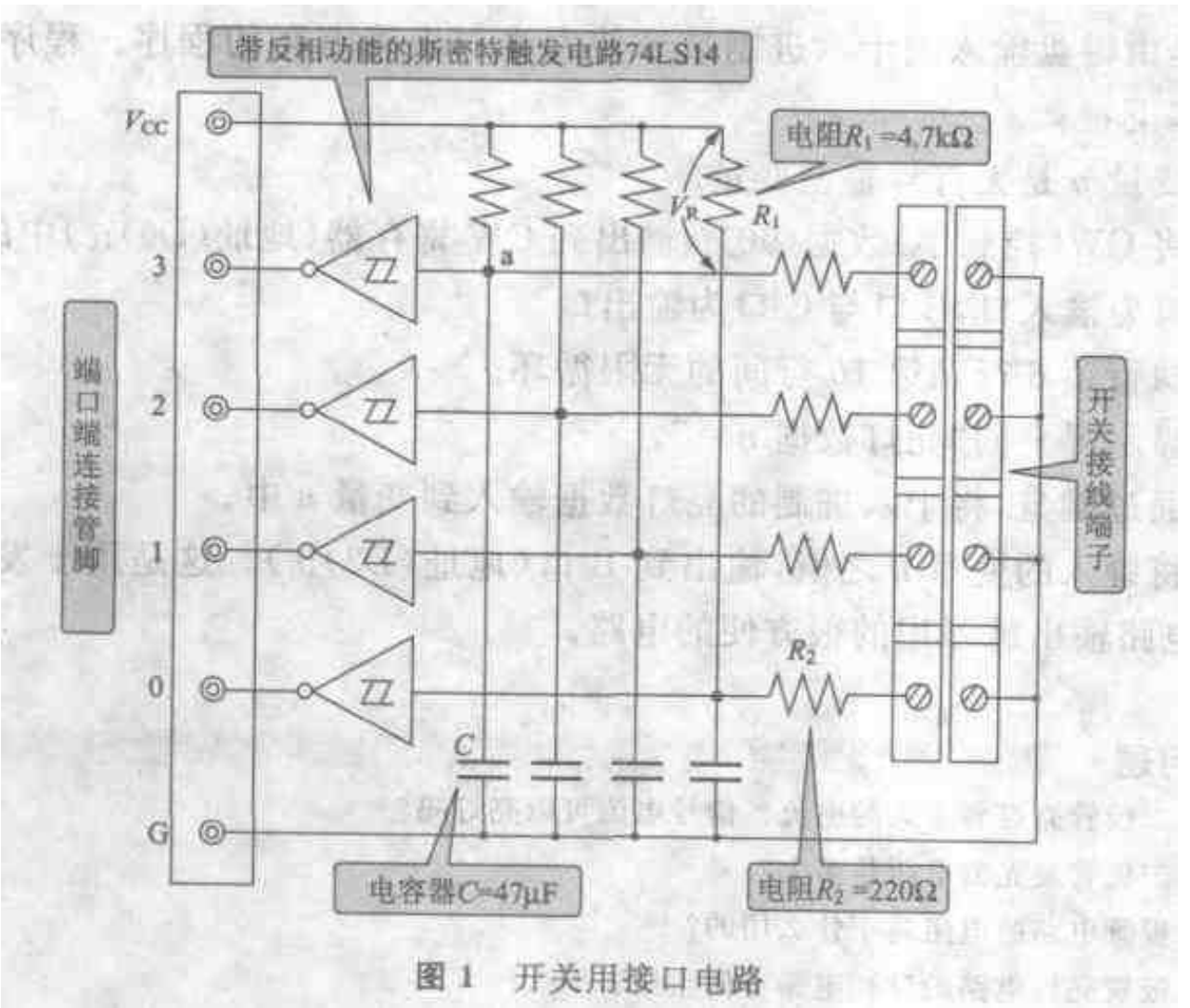


图1　开关用接口电路

Ⅰ 振　动

按钮开关或限制开关等，由于弹簧的复位功能而在开始闭合或断开时，会产生约10ms的反复通断的振动。

要消除振动的影响，要用电路将波形的振动部分进行整形，或考虑用程序来去除振动。例如开关用接口电路，是用波形整形电路来消除振动，整形为美

观的波形。

尽管有各种波形整形电路，但这里只学习一种由积分电路和斯密特电路所组成的波形整形电路，前者使振动的波形变得平滑，而后者则将这种平滑的波形变成方波。

Ⅱ 积分电路

电阻 R_1 与 R_2、电容 C 所构成的电路，通过接点使振动的波形变得平滑。

打开接点

电流从电源通过电阻 R_1 流入电容 C，使 a 点电压逐渐升高，此时振动被消除，同时使波形平滑。当电压上升到饱和电压的 63%时，所需的时间称为时间常数，它由电阻 R_1 与电容器的电容 C 的乘积决定。一般时间常数规定为比振动时间长。

电容器充电饱和后，电流就流入 IC，该电流非常小，$I_{IH}=0.02\text{mA}$，电阻上的压降 V_R 也非常小，信号电压为“1”。

闭合接点

电路中采取接地措施，电流从 5V 电源流经电阻 R_1 与电阻 R_2 入地，电容器放电的电流加到从电源流出的电流，而使振动波形变为平滑的波形。放电结束时，应当使 IC 输入管脚的电压成为“0”信号的许用电压以下，以此来确定电阻 R_1 与 R_2 的值，电阻 R_1 与 R_2 之比就是电压之比。

时间常数

用电阻 R_1 来限制流经电容 C 的电流，通过电容与电阻来调整电容器的饱和时间。已经学过的使电压上升到 63%饱和电压的时间 τ 称为时间常数，而在放电场合，则使电压降到 37%饱和电压的时间作为时间常数。

按以上条件规定时间常数 τ，应当大于振动的时间，以此条件来计算电阻值和电容值。

假定时间常数 τ 为 10ms(0.01s)。

$$\tau=C\times R=0.01$$

$$C=\tau\div R=0.01\div R$$

充电时取 R 为 4.7kΩ，则

$$C=0.01\div 4700=2.1(\mu\text{F})$$

放电时，取 $R_2=220\Omega$，则

$$C=0.01\div220=45.5(\mu F)$$

应取大一些的值，用 $47\mu F$ 的市售电容器。

Ⅲ　施密特触发电路

它将平滑变化的输入电压信号整形为电压高低分明的方波信号：当电压上升到 1.6V 以上时，作为“1”信号输出；当电压下降到 0.6V 以下时，作为“0”信号输出。同时使用当接点闭合时输出“1”，接点断开时输出“0”，具有反相功能的 74LS14 集成电路。

Ⅳ　接线端子

接线端子处设置为 4 位的开关接口。就计算机端来讲，用与其连接用的输入口的 4 位信号端子、连接 5V 电源接地用端子、用的端子共 6 只接插件管脚。5V 电源是开关与集成电路用的电源。

开关端的连接是用螺钉固定式的接插件，电阻 R_2 端的接线端子与接地端的接线端子各一对，共 4 处。

练习题

1. 什么是振动？
2. 修正振动波形的电路有哪些？
3. 什么是电容的时间常数？
4. 施密特触发电路是干什么用的？



解答

1. 振动就是短时间内，信号电压忽高忽低反复振动。
2. 修正振动波形的主要方法，是用积分电路和施密特触发电路。
3. 到达饱和电压的 63%所需的时间。
4. 把平滑的波形变为高、低分明的波形。

6 电磁继电器与接口

此接口使用计算机输出信号使电磁继电器动作，以继电器接点来接通、切断别的电源。是用于对控制对象进行控制的接口。此时的信号占用4位(bit)信号位。

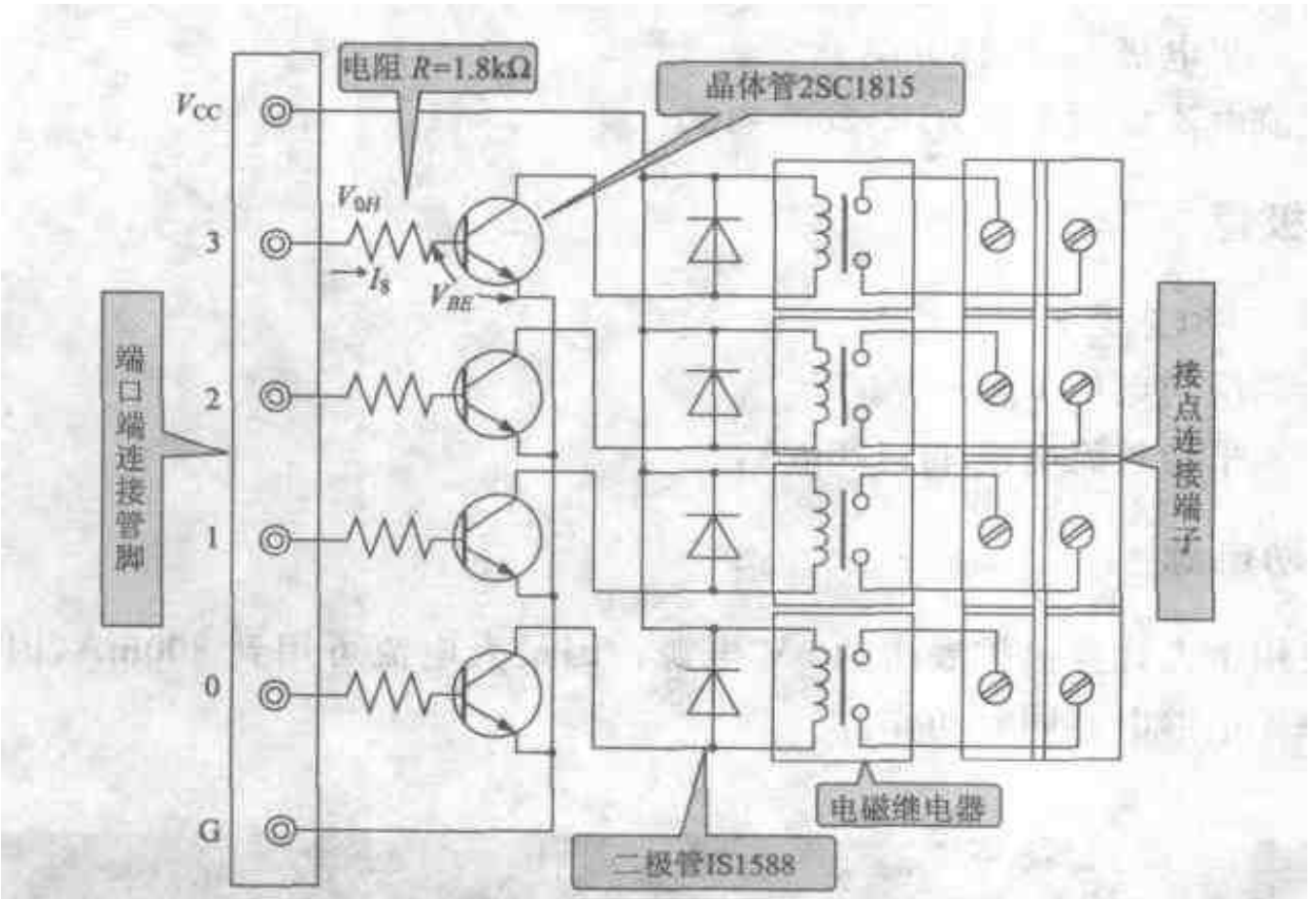


图1 电磁继电器接口

I 使用器件的主要规格

电磁继电器规格

型号：HB2-DC5(松下)。

线圈额定电压：直流 5V。

励磁电流：72mA。

接点规格：转换接点 2 个。

接点容量：2A-125V　AC。

　　2A-30V　DC。

动作/复位时间：约 5ms。

最大操作频率：20 次/s。

晶体管规格

2SC1815(NPN 型)GR 型

最大定额：

集电极-基极之间电压：60V。

集电极-发射极之间电压：50V。

集电极电流：150mA。

直流电流放大系数：GR：200～400。

二极管

IS 1588(东芝)

反向电压 V_R：30V。

平均整流电流 I_0：120mA。

驱动电源

使用个人计算机扩展槽的 5V 电源。因最大电流可用到 800mA，因此，规定允许 4 个继电器同时动作。

Ⅱ　电　路

电磁继电器电路

这是一种通过晶体管的电流来驱动继电器的电磁线圈的电路。

5V 电源→继电器线圈→晶体管集电极→发射极→地，在线圈两端反向并联吸收反电势(浪涌电压)用的二极管。

信号电路

通过插接件的数据管脚引出的保护电阻 R 与晶体管的基极连接。

因集电极电流 I_C 最大为 150mA，所以可根据直流电流放大系数 $h_{fe}=200$

计算出最大的基极电流为 0.75mA。

这一基极电流 I_B，经电阻 R 降压后，基极电压应大于导通电压(0.7V)，据此可求得电阻值 R。

$I_B = I_C / h_{FE} = 150\text{mA} \div 200 = 0.75\text{mA}$

$R = (V_{OH} - V_{BE}) / I_B = (2.4\text{V} - 0.7\text{V}) \div 0.75\text{mA} = 2\ 267\Omega$

电阻应当用小一些的 1.8kΩ 市售电阻。V_{OH} 以"1"输出的最小电压值来计算。

端　子

继电器接点的 a 接点端子连接在螺钉固定的接插件上，作为与外部连接的管脚。

11　简单的动作程序

```
1  main( )
2  {
3        unsigned int i;
4        outp(0xd6,0x90);
5        for(;;)
6        {
7           i=inp(0xd0);
8           if(i==128)
9           {
10                break;
11          }
12          else if(j<=128)
13          {
14                outp(0xd2,i)
15          }
16       }
17 }
```

在 A 口上，连接 8 个开关输入电路，B 口的低 4 位连接电磁继电器的接口。

若按下低 4 位的开关，则所编的程序就使同一位号的继电器动作，若按下第 7 位的开关，就停止执行程序。

练习题

1. 与电磁继电器线圈并联的二极管起什么作用？
2. 为使晶体管导通，需多大的基极电压？
3. 在晶体基极的前面接入的电阻起什么作用？



解答

1. 为了吸收反电势(浪涌电压)。
2. 0.7V 以上。
3. 为了保护晶体管。

7 小型直流电动机的接口



制作能控制根据计算机发出的转向与启动、停止控制两个信号，使小型直流电动机正反转或停止的接口。

所接小型直流电动机的额定电压为直流12V，额定电流为500mA。

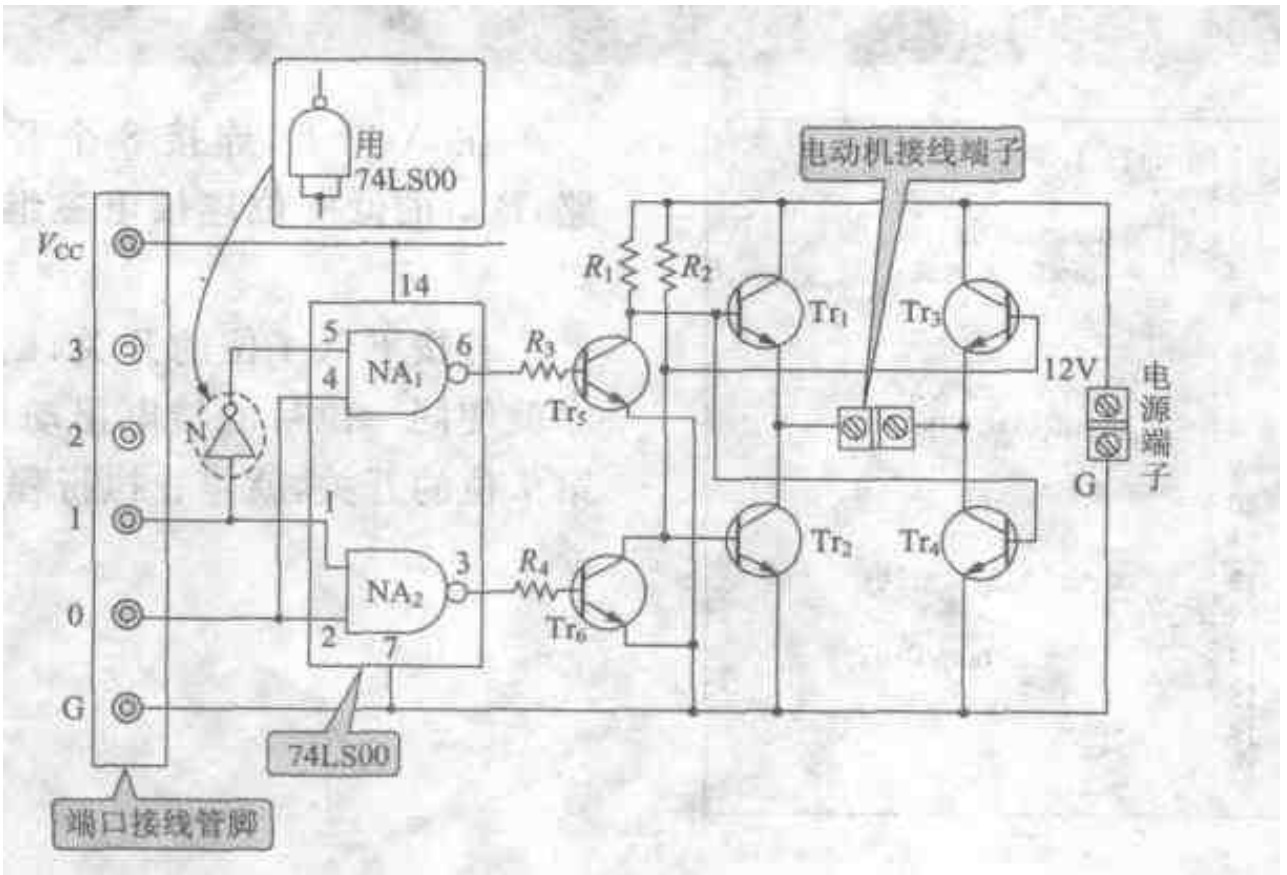


图 1　直流电动机的接口

I 电　路

与计算机的连接

与计算机端用 6 脚的接插件连接，转向与启动、停止两条信号总线和电源(5V 与地)接 4 只脚，剩下两只空着不用。接插件的电源脚之间，带有吸收噪声

用的电容(47μF,0.01μF)。

与电动机及电动机电源的连接

用螺钉固定式接插件连接电动机的电缆端子。电动机电源用 12V 专用电源,也用螺钉固定式接插件连接。

控制电路

如图 1 所示,口连接管脚的第 0 位管脚(启动、停止信号)与第 1 位管脚(转向信号)接到晶体管 Tr_5、Tr_6 的基极。NOT 电路 N 是为了当转向信号为"0"时,将"1"信号输入到 NAND 电路 NA1。

用于控制的晶体管 Tr_5、Tr_6 与 12V 电源连接,要从接插件端取信号,其原因是:

- 在 NAND 电路的输出为 0 时,要使控制用晶体管导通。
- 由于驱动电动机用的晶体管 Tr_5、Tr_6 与斯密特触发器连接,所以电动机的驱动电压要用 12V,则基极电压也要用 12V。

驱动电路

驱动电路如图 1 所示,将 4 个驱动用晶体管 Tr_1、Tr_2、Tr_3、Tr_4、电动机的接线端子,电源端子连接起来。

Ⅱ 晶体管的选择

驱动用晶体管:电动机的额定电流是 0.5A,则考虑了启动电流时的最大集电极电流 I_c 应当在 3A 以上。

若假定基极电流 I_b 为 0.002A,直流电流放大系数 h_{FE} 可按下式计算:

$$h_{FE}=\frac{I_c}{I_b}=\frac{3}{0.002}=1\ 500$$

因此选用最大集电极电流为 7A,直流电流放大系数为 2 000 的驱动用晶体管 2SD633。

控制用晶体管:最大集电极电流 I_c 是驱动用晶体管基极电流的两倍,即为 0.004A,控制用晶体管的基极电流 I_b,考虑一个与非门电路时的输出电流为 0.000 4A,则直流电流放大系数 h_{FE} 可按下式计算:

$$h_{FE}=\frac{I_c}{I_b}=\frac{0.004}{0.0004}=10$$

可选用最大集电极电流为0.15A，直流电流放大系数h_{FE}为80以上的晶体管2SC1815。

选择理想的晶体管需要一定的经验，可以一边反复试验，一边选用。

运行

停止

若往第0位中输入停止信号0，则两个与非电路的输出为1，两个控制用晶体管导通，全部驱动用晶体管阻断，电动机中没有电流流过。

正转启动

如若第0位中的启动信号为1，在第1位中输入正转的信号1，则与非电路NA2的输出信号为0，使驱动用晶体管Tr_2与Tr_3导通，电动机正转。

反转启动

若第0位中的启动信号为1，在第1位中输入反转的信号0，则非门电路N端为1，并输入与非电路NA1中，其输出变成0，使驱动用晶体管Tr_1与Tr_4导通，电动机反转。

练习题

1. 在接插件电源端子之间为什么要接电容？
2. 非门电路有什么作用？
3. 用控制晶体管Tr_5、Tr_6的目的是什么？
4. 为什么要在直流电动机驱动电路中使用4个晶体管？

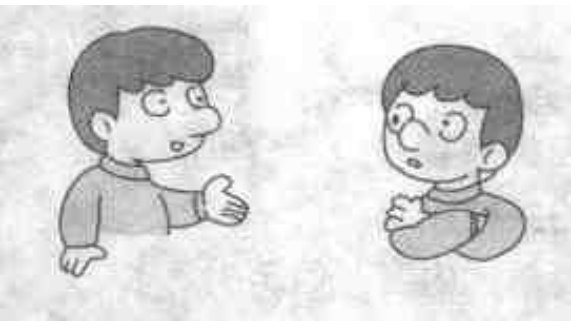


解答

1. 为吸收电源端子前的噪声，防止它串入计算机或接口中。
2. 起到将信号反相的作用。
3. 信号变换与电压变换。
4. 用于改变电流方向，从而改变电动机的转向。

挑战是题

① 8255 是 8 位串行，还是 8 位并行数据传输用的接口？
② 8255 有几个输入输出口？
③ 8255 有几种用法？
④ PC 9801 个人计算机的 16 位数据总线，将低 8 位作为数据的场合，口的地址是偶数还是奇数？
⑤ A、B、C 口是偶数地址时，若用二进制数来表示，应用地址总线的哪几位来改变这几个口的地址？
⑥ 8255 的 CS 管脚有什么作用？
⑦ 为什么数据管脚要通过电阻后再连接到电源上？
⑧ 要让发光二极管点亮所需的电压大约是几伏？是直流还是交流？
⑨ 为什么发光二极管亮灯电路中要用反相器(NOT)电路 IC？
⑩ 向输入输出口输出数据的命令，用 C 语言如何表达？
⑪ 数据的输入命令在 C 语言中是如何表达的？
⑫ 控制字(CW)是什么意思？
⑬ 什么是抖动？
⑭ 斯密特电路是什么电路？
⑮ 电磁继电器电路中，与电磁线圈反向并联的二极管有何作用？
⑯ 小型直流电动机的接口电路中，为什么要用 4 个晶体管？

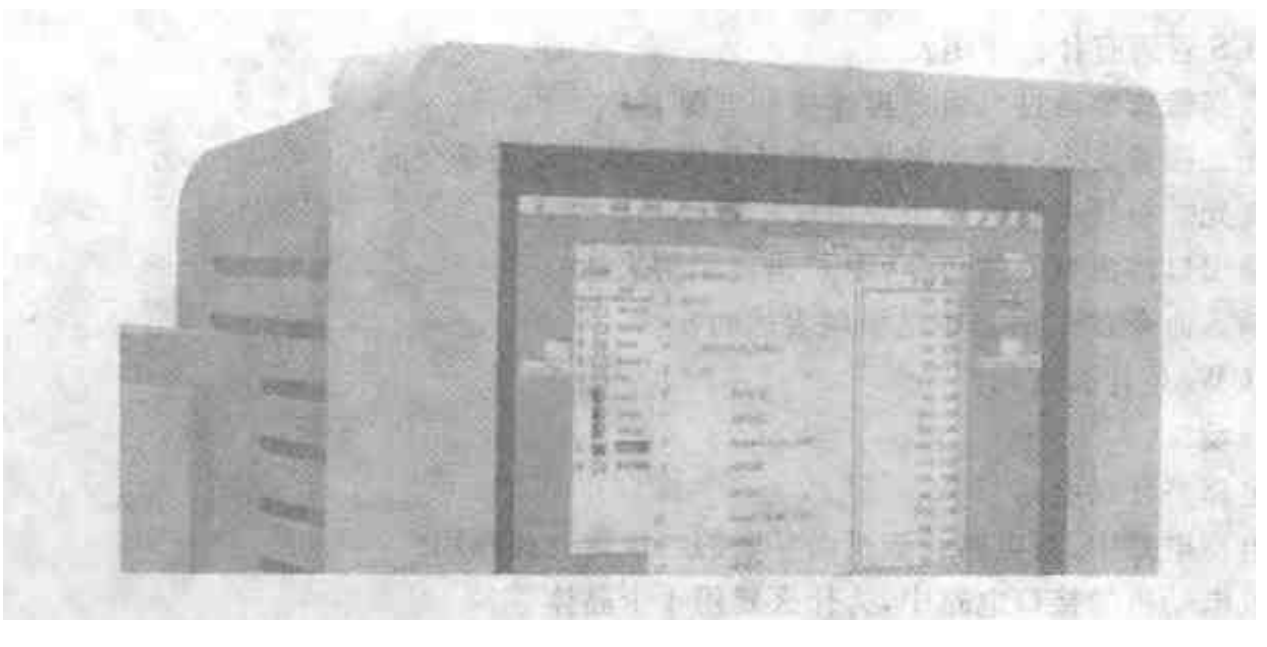


A 答 案

①是 8 位并行数据传输用的接口。 ②A 口、B 口、C 口三个。 ③模式 0，模式 1 与模式 2 三种。④偶数。 ⑤第 1 位与第 2 位。 ⑥CS 是片选管脚。 ⑦为了限制数据信号的电流，称为上拉电阻。 ⑧约 2V 直流。 ⑨为了用流入 IC 内的电流使发光二极管点亮，将输入信号反相，在输出端子上成为“0”。 ⑩outp()：快捷 C(quick)。 ⑪inp()：快捷 C。 ⑫用于8255 接口使用模式设定或表示 C 口各位的设置、复位的 8 位数据。 ⑬自动复位型开关的按动或松开时产生短时间通、断的反复振动波形。 ⑭将有电压状态的输入电压信号分为“1”信号与“0”信号的输出电路。 ⑮为了吸收在切断电磁继电器线圈的电流时产生的反电势。 ⑯为控制电动机的转向，以两个晶体管为一组，任一组导通时，就能改变流入电动机电流的方向。

第7章

简单的控制程序



用C语言编写的简单控制程序

如果在扩展槽中连接了输入输出装置与接口，就可以编制程序，试一下进行输入计算机的各种控制。

“从简单的内容开始努力”。

实际上，与BASIC语言相比，C语言难掌握。定义变量的类型、函数的设计方法等，对初学者来讲是难以理解的内容。但是通过在简单程序中变更条件来反复执行，掌握要领的话就可逐渐理解了。将基本的控制程序写成函数的形式，就能将这些函数编制成复杂的组合程序。

如果是因为困难或复杂对其不进行研究，到时候执行起来困难会更多。所以，首先从使用开关输入电路与发光二极管亮灯电路着手，反复编制并执行各种程序，来掌握要领。

比如，在制作电动机的控制程序时，我们不考虑转速或转向的瞬时变化，而只设计计算按钮开关次数的程序，就可用程序来计转速。

在实践中，输入电路也只用一个开关即可简单地实现。在使转速变化的程序中，若也用发生二极管的亮、灭程序来设计的话，实施也简单，可用人的感官来检验。

另外，实际使用的C语言程序是不带行号的，本书为了说明方便，还是附加了行号。

1 在控制中使用C语言的基本知识



简单介绍一下在控制中常用的C语言的基本知识。

I 数　据

常　量

常量有整数、实数、字符、字符串等。

① 整数：有十进制数、十六进制数等。

• 十进制数，就是以其数值本身来表示。

例如：128、1、8、－32、－153。

• 十六进制数，要在前面带 0x 来表示。

例如：0x10，0xff，0xa2

因在控制中常用十六进制数，请不要忘记在前面带 0x。

② 变量

• 变量名用()中 8 个以内的英文字母、数字来表示，头一个字不能用数字。我想把变量连贯地来看，应当以一定的规律命名，以便于理解为好。

• 在控制中，常用无符号的整型变量，声明例子：unsigned ind x;

• 因＋、－符号占用了 1 位最高位作为符号位，所以数据就少了 1 位，输入输出数据等是不带符号的。

• int 型(整型)变量是计算机处理单元(MPU)能最高效处理的带符号的整数，在用个人计算机的过程中，必须确认(声明)。

Ⅱ　输入输出命令

口输出

outp(地址、数据)

(　) 内的输出目标口地址与输出数据用十进制数或十六进制数标记。

例:outp(0xd6, 0x80)是将数据$(0x80)_{16}$输出到地址号为$(D6)_{16}$的 CW 寄存器中。

例:outp(0xd2,255)是将数据 255 输出到地址号为$(D2)_{16}$的口中。

口输入

x=inp(地址)

(　) 内为输入口地址,表示将输入数据代入变量 x 中。变量名可以任意规定。

例:nyuryok=inp(0xd0);表示将地址号为$(D0)_{16}$的口中的输入数据代入变量 nyuryok 中。

Ⅲ　执行的控制

在控制中是根据输入的条件来决定执行内容的,要同样地反复执行多次时,都用条件分支或循环控制。

条件分支

对开关或传感器等的输入数据作出判断后决定执行时,可用 if 语句或 switch 语句等。结合它们的特点来用。

① if 语句

if () {}

if () {} else {}

if () {} else if () {} else {}

在这些可用的方法中,()内写条件表达式,{}内写执行语句,有多个条件表达式,也能判断执行。

例如:if(条件式 1||条件式 2)

意思是条件式1与条件式2中任一个条件式成立的话。

例如：if(条件式1&&条件式2)

意思是假设条件式1与条件式2都成立。

② switch(开关)语句

switch(表达式)的语句中，表达式所指的值，可用执行语句case来处理，并且只能执行其中一个表达式。

case语句中若不插入break语句，则继续执行随后的语句，若插入break语句，则switch语句结束，执行switch语句之后的执行语句。

循环控制

在条件表达式成立之前，对执行语句反复执行的场合，使用无条件循环判断语句。While语句、do~while语句等。

① 无条件循环

• 若省略for语句的三个条件表达式，则成为无条件循环语句。

```
for (;;) {}
```

• while语句的条件表达式中，若使用除0之外的数字，则循环就无限制地延续，程序不会停止执行。

```
while (1) {}
```

② 从循环圈中跳出

用判断语句(if语句或switch语句)与break语句或goto语句均可跳出循环圈。

break语句跳出循环圈是执行后面的语句，用goto语句跳出则执行指定标记处的语句。

在程序结构中，还是少用goto语句为妙。

③ 在循环执行过程中间，进行中断处理，然后再继续循环时，要通过判断语句执行continue语句的话，则不再执行以后的语句，而进入for语句的最早的执行语句。

④ while语句与do~while语句

这两个语句都是对执行语句的条件是否成立作出判断的，它们作出判断后的执行有所区别，但在条件表达式成立期间，反复地执行循环这一点是相同的。

由于while(条件表达式)中只能设置一个条件表达式，所以不能进行IF语句中那种复杂的判断。但是IF语句中的循环条件判断必须借用其他语句的功能来实现。

*　　*　　*

在某种程度上，想要编制使用开关的输入电路与发光二极管亮灯电路的程序，还是有必要用实际的装置来执行所用的控制程序。在实际的控制中，会出现理论上考虑不到的问题。

编制的程序不仅需要程序的知识，还牵涉到必要的电气、电子的基础知识和机械等方面的知识，也有用程序控制解决不了的问题，而必须用硬件的手段来解决。

练习题

1. 程序中十进制数与十六进制数在表示上有什么不同？
2. 命名变量名称有什么规定？
3. while 语句与 do～while 语句有什么区别？
4. 有什么办法可从循环圈中跳出？



解答

1. 十进制数就用数值本身表示，十六进制数要在前面附加 0x 表示。
2. 用 8 位以内的字母、数字写入()内，头一个字不能用数字。
3. while()是通过条件判断来执行，而 do～while()则是通过执行来作出条件判断。
4. 使用判断语句、break 语句或 goto 语句等。

2 8位发光二极管的亮、熄程序

将8位发光二极管接入8255输入输出接口的B口中，观察各种使发光二极管亮、熄的情况(参见图1)。

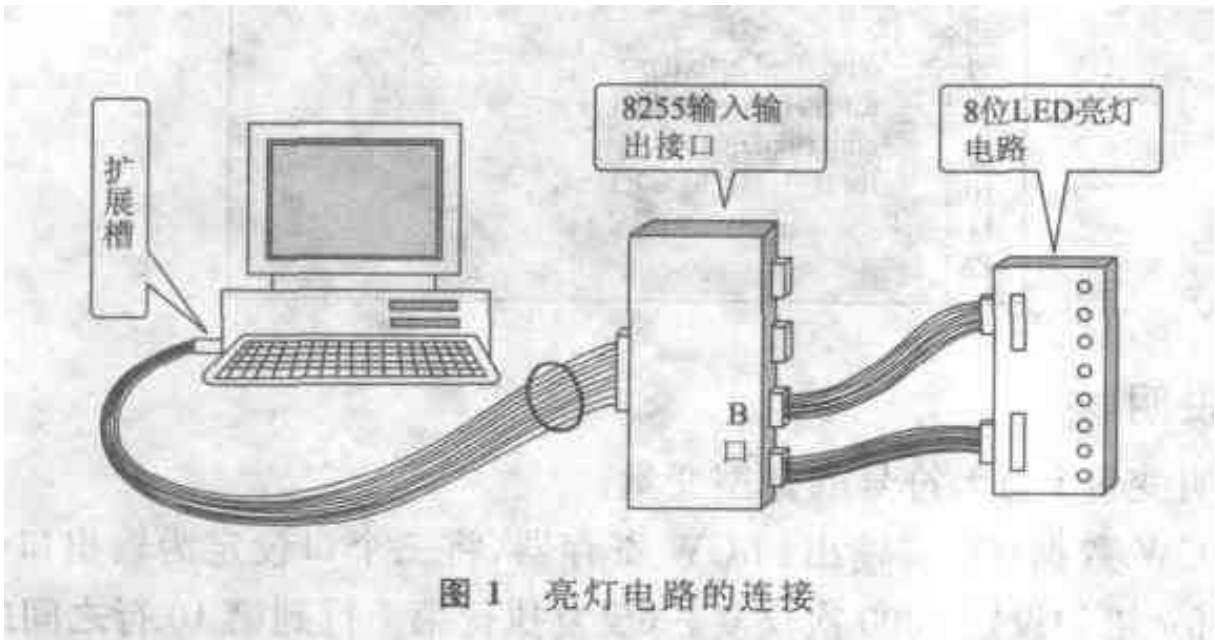


图1　亮灯电路的连接

Ⅰ 全部灯亮、熄

编制使全部灯反复亮、熄1000次的简单程序(参见图2)。



图2　亮灯模式

数　据

CW 寄存器地址：$(D6)_{16}$。

B 口地址：$(D2)_{16}$。

CW 数据：$(80)_{16}$。

8 位亮灯数据：$(ff)_{16}$。

8 位熄灯数据：$(0)_{16}$。

程　序

```
1  main ()
2  {
3    unsigned int i;
4    outp (0xd 6, 0x80);
5    for (i=1; i ▮ =1000; i++)
6    {
7      outp (0xd 2, 0xff);
8      for (i=1; i<=30000; i++);
9      outp (0xd2,0x0);
10     for (i=1; i<=30000; i++);
11   }
12 }
```

程序说明

3. 声明变量 i 为无符号的整型变量。

4. 将 CW 数据$(80)_{16}$输出到 CW 寄存器，将三个口设定为输出口。

5. 用 for 语句设定 1000 次反复。（反复执行第 7 行到第 10 行之间的命令。）

7. 向 B 口输出全部灯亮的数据$(ff)_{16}$。

8. 为延长亮灯时间，用条件循环语句，反复的次数来延长 B 口输出的保持时间。

9. 向 B 口输入全部灯熄灭的数据$(0)_{16}$。

注意：计算机的处理速度极快，是以 μs 为单位间隔亮、熄灯的，人所能判断的速度不过 10Hz 左右，所以要通过第 8 行与第 10 行的 for 语句来延长亮、熄的时间，才能判断亮、熄。

Ⅱ　单方向亮、熄程序

发光二极管将从第 0 位到第 7 位一个个地依次亮、熄，编制这样反复 1000 次的控制程序。

程　序

```
1  main ()
2  {
3      unsigned int od,n,i,t;
4      outp (0xd6,0x80);
5      for (i=1; i<=1000; i++)
7      {
8        od=0x1;
9        for (n=0; n<=7; n++)
11       {
12           outp (0xd2,od);
13           for (t=1; t<=3000;t++);
14           od<<=1;
15       }
16     }
17 }
```

程序说明

8. 将$(1)_{16}$代入变量 od 中。

9. 设置从第 0 位到第 7 位依次使灯亮熄的 for 语句。(将第 11 行到第 14 行之间的命令,代换数据,反复 8 次。)

Ⅲ　反复往返亮灯

若在 2 的程序第 15 行与第 16 行之间追加从下 6 位起向第 1 位以相反的顺序亮灯的程序,则能进行往返亮熄。

追加程序(返回的亮、熄)

```
1  for (n=1; n<=5;n++)
2   {
3     od>>=1;
4     outp (0xd2,od);
5     for (t=1; t<=3000;t++);
6  }
```

练习题

1. 无符号整型量与有符号整型量有什么不同?
2. 无条件循环的 for 语句是干什么用的?
3. od<<=1 与 od>>=1 有什么区别?

解答

1. 用+、-符号要用到最高位,作为数来用要少一位。无符号量则可以将所有的位都作为数来用。
2. 为了延长前面输出的数据在口中保持的时间。
3. od<<=1 是将 od 的位数据往左移 -位的命令,而 od>>=1 是将 od 的位数据往右移 --位的命令。

3 利用开关的控制

8255接口的A口上连接8位开关的输入电路，B口上连接发光二极管电路，C口上连接电磁继电器的驱动电路，来试一下用开关输入的控制(参见图1)。

Ⅰ 用开关的控制

功　能

当 A 口的第 0 位的开关 ON(“1”,接通)时,B 口的 8 位全部发光二极管均熄灭,当第 7 位 ON(接通)时,程序结束。

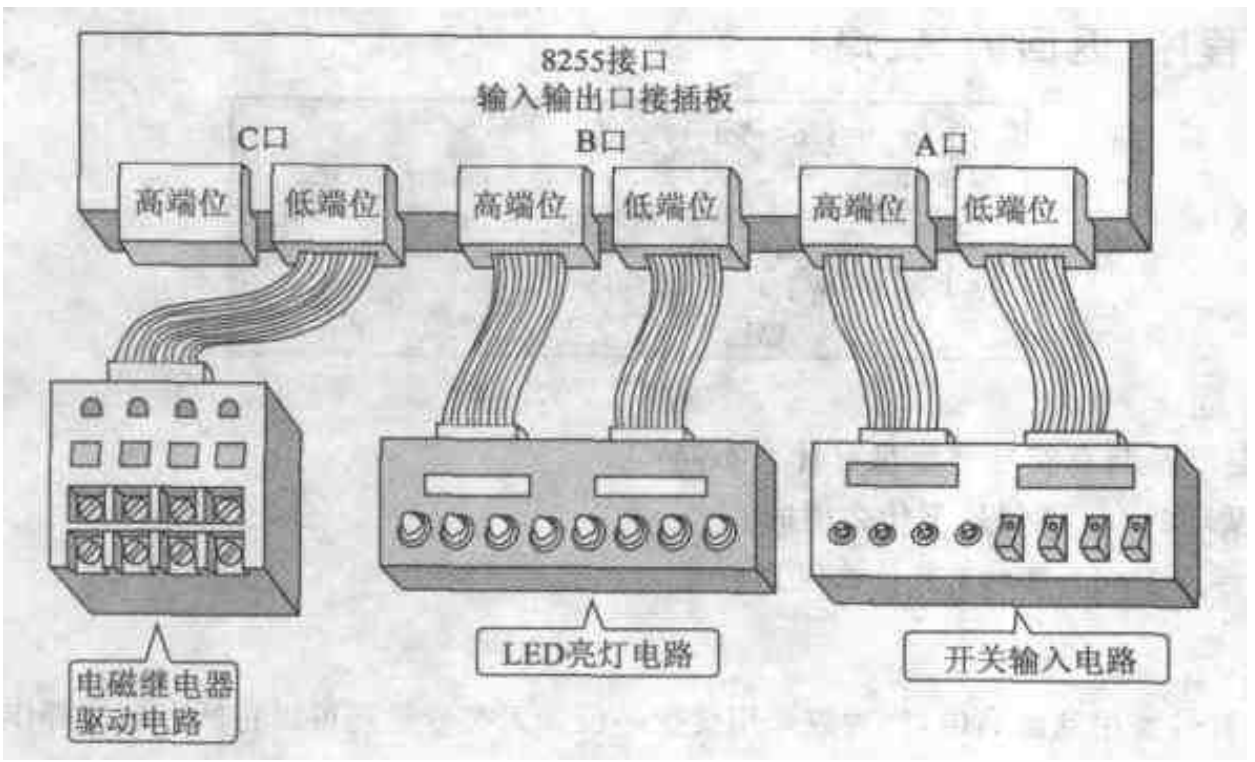


图 1　连接结构

程　序

```
1  main ()
2  {
3      unsigned int sw;
4      outp (0xd 6, 0x 90);
5      do {
6          sw=inp (0xd0);
7          if (sw = =1)
8          {
9              outp (0xd2,0xff);
10         }
11         else
12         {
13             outp (0xd2,0x0);
14         }
15     }while(sw!=128);
16 }
```

程序说明

5～15. do～while 语句，在按第 7 位的开关之前，反复执行第 6 行到第 14 行之间的命令。

6. 将 A 口的数据输入变量 SW 中。

7～14. 用 if 语句，当输入数据为 1 时，将$(ff)_{16}$输出到 B 口中，全部发光二极管点亮，其余情况下将$(0)_{16}$输出到 B 口，使发光二极管熄灭。

Ⅱ　用多个开关控制

假定按表 1 所示对 A 口的开关进行操作，使 C 口的电磁继电器动作。

表 1

A 口的开关	C 口的电磁继电器
第 4 位 ON(接通)	第 0 位工作
第 5 位 ON(接通)	第 1 位工作
第 6 位 ON(接通)	第 0 位与第 1 位工作
第 7 位 ON(接通)	所有位均停止工作

若按第 0 位开关的话，程序结束。

程　序

```
1  main()
2  {
3      unsigned int sw;
4      outp (0xd6,0x90);
5      do {
6          sw=inp (0xd0);
7          switch (sw)
8          {
9            case 0x10;
10             outp (0xd2,0x1);
11             break;
12           case 0x20;
13             outp (0xd2,0x2);
14             break;
15           case 0x40;
16             outp (0xd2,0x3);
17             break;
18           case 0x80;
19             outp (0xd2,0x0);
20         }
21       } while (sw!=1)
22 }
```

程序说明

5～21. do-while 语句的条件(不接通第 0 位开关的情况下)成立，则以第 6 行到第 20 行循环，若条件不成立，则程序结束。

8～20. 开关语句，根据各 case 常数表达式的条件，执行各自的输出。例如，在 case 0x10;的条件下，变量 SW 的值是$(10)_{16}$时，执行随后命令。

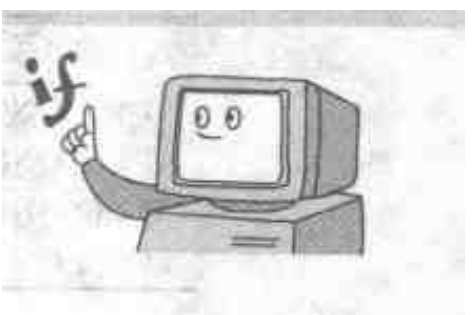
break 语句是使 switch 语句结束。

★ 对开关等的输入数据进行判断处理时，使用 if 语句或 switch 语句。判断语句多的场合，用 switch 语句则更方便。

用 if 语句时，需要进行许多的条件检查。

在最后的 case 语句中，只所以没有 break 语句，是因为不带 break 语句，switch 也会结束的缘故。

练习题



1. if 语句中的()的条件中，将＝＝写成＝是错的吗?
2. if 语句中的 else 是什么意思?
3. switch()语句的 case 是什么意思?
4. break 是作什么处理的?

解答

1. 是错的。＝是代入的意思，不是等号。
2. if 语句中()的条件不能成立时，执行 else 后面的程序。
3. switch 语句的变量用 case 表示数据的场合，执行后面的处理。
4. 中断现在为止的处理，执行下一个处理。

4 利用传感器的控制

编制一个程序，用温度传感器检测温度，当室内温度到达上限时启动鼓风机，使温度下降，当温度到达设定温度下限时，使鼓风机停止。

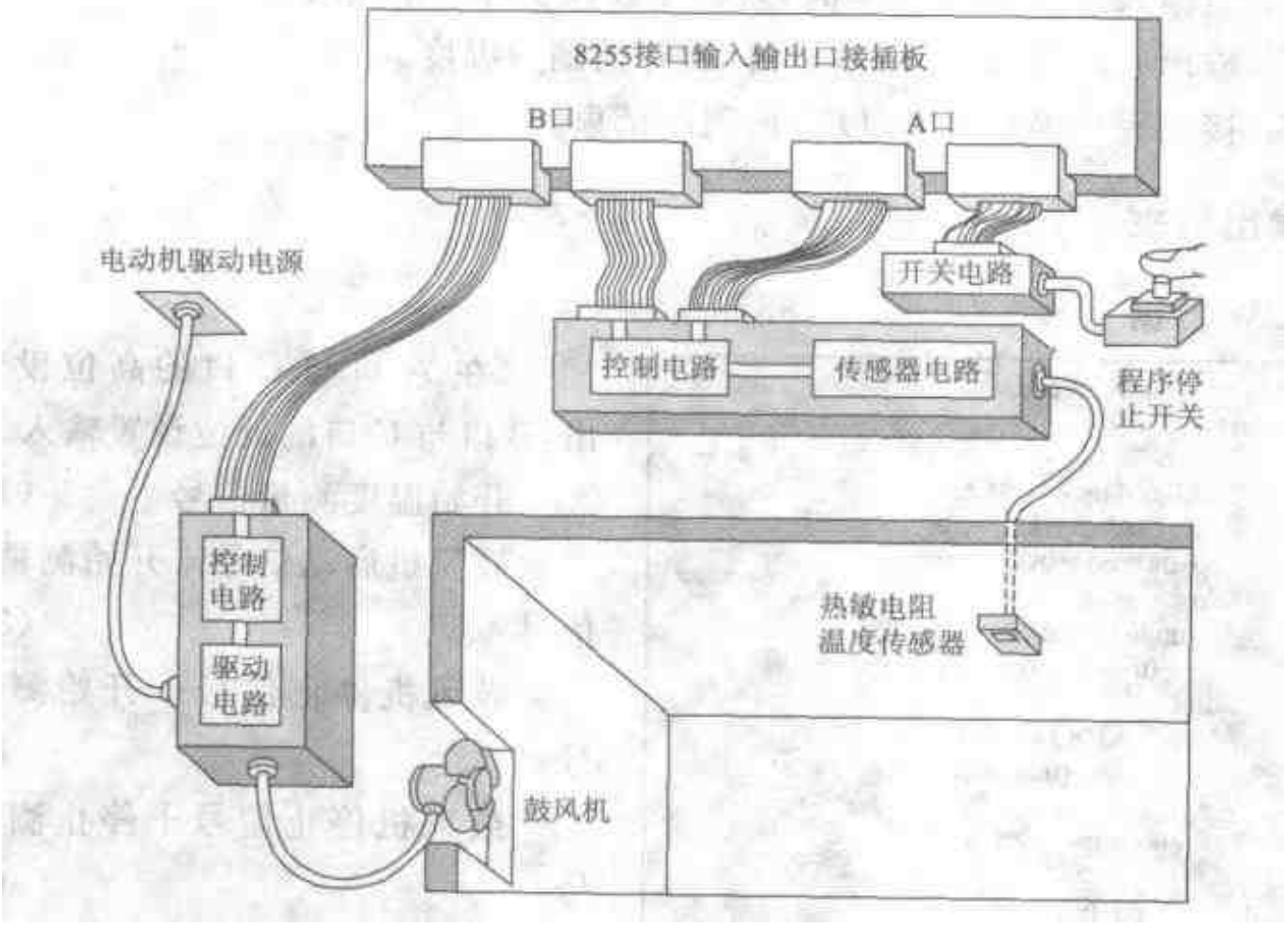


图 1 温度控制连接

1 连接与功能

连 接

结束程序的开关输入信号，接在 A 口的第 0 位上，热敏电阻温度传感器的

30℃以下的信号，接在 A 口的第 4 位上，35℃以上的信号，接在 A 口的第 5 位上，分别作输入信号。

开始检测的输出信号接在 B 口的第 0 位上，鼓风机启、停信号接在 B 口的第 1 位上。

动　作

1. 将开始测量的信号输出到传感器，输入温度数据后输出停止测量的信号。

2. 因测量温度与处理信号要花一定的时间，所以经过一定时间后，输入测量结果。

3. 当输入 35℃以上的信号时，就输出鼓风机启动信号。

4. 当输入 30℃以下信号时，就输出鼓风机停止的信号。

5. 输出鼓风机的启、停信号后，就开始测量温度。

6. 接通程序停止开关(ON)使程序结束。

输出数据

CW 数据　　$(98)_{16}$

（在 A 口与 C 口的高位设置输出，B 口与 C 口的低位设置输入。）

开始温度测量信号　　$(1)_{16}$

鼓风机启动信号＋开始测量信号　　$(3)_{16}$

鼓风机停止信号＋开始测量信号　　$(1)_{16}$

鼓风机停止信号＋停止测量信号　　$(0)_{16}$

输入数据

35℃以上信号　　$(20)_{16}$

30℃以下信号　　$(10)_{16}$

程序结束信号　　$(1)_{16}$

程　序

见右侧程序。

```
int ondo (int od,int odd,int tt);
main ()
 {
      unsigned int od,odd,tt,st;
      outp (0xd6,0x98);
      od=0x1; odd=0x0;
      do {
          ondo (od,odd,tt);
          if (tt==0x20)
          {
              od 0x3;odd=0x2;
              outp (0xd2,od);
          }
          else if(tt==0x 10)
          {
              od=0x1; odd=0x0;
              outp (0xd2, 0x0);
          }
          st=inp (0xd0) & 0x1;
     } while (st!=0x1);;
 }
ondo (int 0d,int 0dd,int tt)
 {
     unsigned int i,t,;
     outp (0xd2,od);
     for (i=1;i<=1000;i++);
     t=inp (0xd0);
     tt=t& 0xf0;
     outp (0xd2, odd);
 }
```

程序说明

1. 声明函数 ondo()的原型。

6. 设置 od、odd 的初值。

7～20. do-while 语句，当开关输入为 0x1 时结束程序。否则反复地执行语句内容。

8. 调用函数 0ndo()，进行温度测量。

9～18. if 语句，当 ondo()中的变量 tt 等于 0x20 时(测量的温度在 35℃以上)，将“3”输出到 B 口的第 0 位上，tt 等于 0x10 时，(测量温度在 30℃以下)，将“1”输出到 B 口的第 0 位上。

19～27. 是函数 ondo()的定义。

练习题



1. 热敏电阻是测量什么的传感器？
2. 叙述输出开始测量信号时，不能立即输入温度数据的理由。
3. 为什么要交接输出数据？
4. 输入传感器数据时，应注意什么问题？

解答

1. 是温度传感器。
2. 测量、处理输入计算机的数据要花一些时间。
3. 用函数 ondo()输出开始与停止测量数据时，由于鼓风机的启动时与停止时数据不同的缘故。
4. 是输入延时。

5 汽缸的控制

工厂里发出机械的嘘嘘声，就是汽缸等利用空气压力工作的机械发出的声音。汽缸是用于直线运动的执行机构。这里试编一个汽缸的简单控制程序(参见图1)。

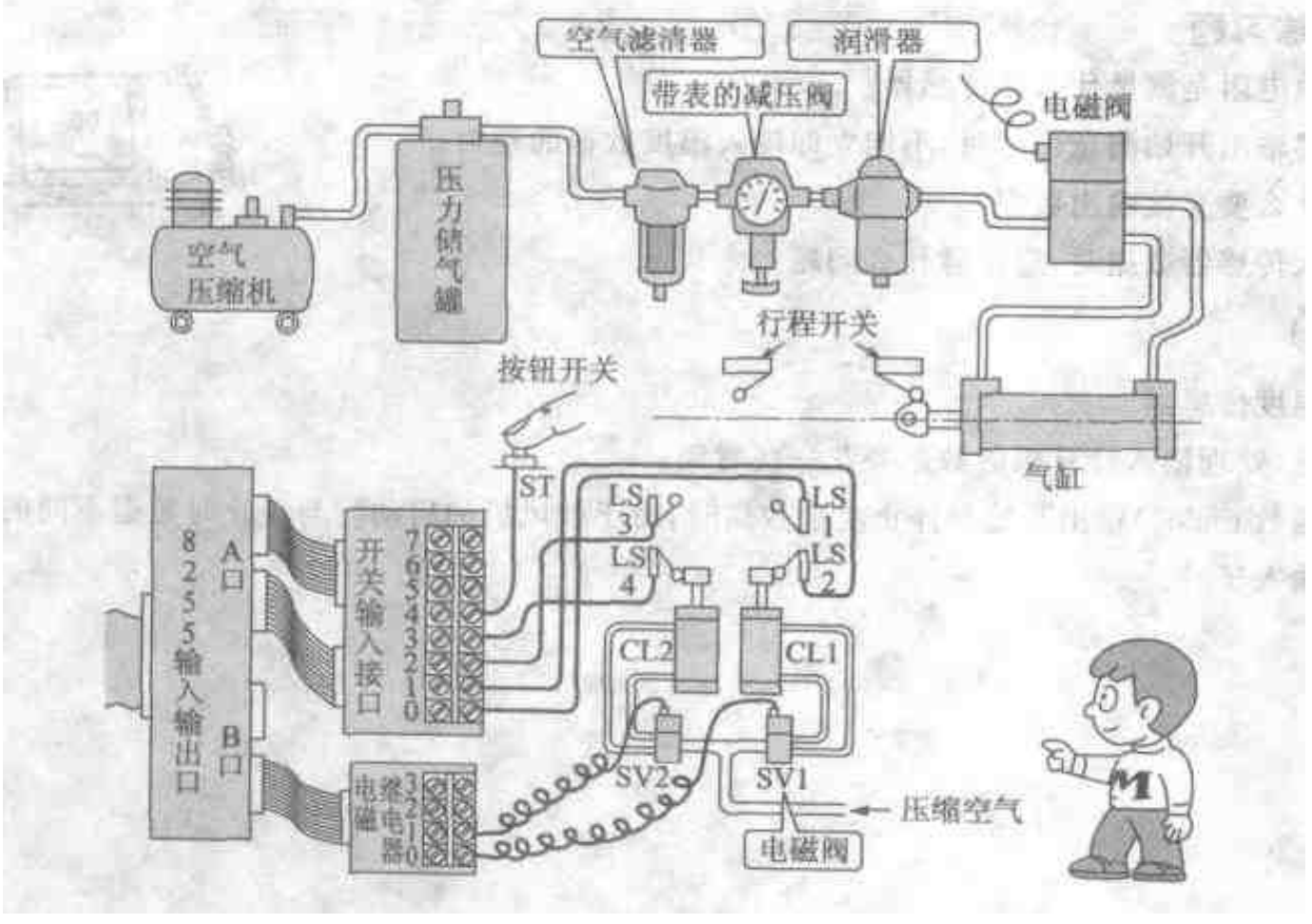


图 1　汽缸工作系统

I 汽缸系统

汽　缸

汽缸是在空心圆筒(缸体)中装一个圆盘(活塞)，用压缩空气的能量作直线

运动的机构。压缩空气通过活塞移动方向后端的进气口送入，并将活塞移动方向前端的空气排到外面去。

空气压缩系统

用空气压缩机产生的压缩空气，经过空气滤清器，滤去空气中的灰尘和水分，通过带表的减压阀来调节工作压力，用喷雾润滑器等向压缩空气喷洒润滑剂，来向空压机提供润滑油，然后再将这压缩空气送入汽缸，这就组成空气压缩系统。在耗气量大的情况下，要附加压力储气罐以防止压力降低。

电磁阀

向汽缸提供的压缩空气，是通过螺线管驱动的电磁阀来控制的。

一般的电磁气阀，大多是单端螺线管式，根据是否有电流流过螺线管，对电磁阀进行通断控制。

位置传感器

用行程开关检测活塞的位置，通过开关用的接口将信号输入计算机。

电磁阀驱动电路

用来自计算机的信号，控制驱动电路的电磁继电器，通过继电器接点来接通、切断电磁阀的交流电源。

与计算机的连接

通过开关用的接口，将 4 个行程开关与按钮开关连接到 8255 输入输出接口的 A 口上。B 口上连接电磁继电器的驱动电路，将电磁阀连接到继电器的接点上。

Ⅱ 控 制

动 作

① 若按下按钮开关，电磁阀 SV1 工作，汽缸 CL1 的活塞伸出，压住行程开关 LS1。

② 若压住 LS1，电磁阀 SV2 工作，汽缸 CL2 的活塞伸出，压住行程开关 LS3。

③ 若压住 LS3，则电磁阀 SV1 停止工作，汽缸 CL1 的活塞缩回，压住行程开关 LS2。

④ 若压住 LS2，则电磁阀 SV2 停止工作，汽缸 CL2 的活塞缩回，压住行程开关 LS4。

程　序

```
int dousa (int id,int od,int iid)
main ()
{
    outp (0xd6,0x90);
    do{
        id=0x1a;
        od=0x1;
        dousa (id,od,iid);
        id=0x9;
        od=0x3;
        dousa (id, od,iid);
        id=0x5;
        od=0x2;
        dousa (id,od,iid);
        id=0x6;
        od=0x0;
        dousa (id,od,iid);
    } while 1;
}
dousa (int id,int od,int iid);
{
    unsigned int id,od,iid;
    do {
      iid=inp (0xd0);
    } while (iid!=id);
    outp (0xd2, od);
}
```

练习题

1. 汽缸的活塞动作时，压缩空气是通过哪个进气口进入的？
2. 要改变汽缸压缩空气进气口气流方向，使用什么东西来控制？
3. 要将电磁阀与计算机连接时，通过什么输入输出接口？
4. 用什么检测活塞的位置？

解答

1. 从动作方向后端的进气口进入。
2. 用电磁阀(换向阀)。
3. 电磁继电器的驱动电路。
4. 是行程开关等。

6 直流电动机的控制

试编写一个控制小型直流电动机的转速与方向控制程序，此电动机带减速机，在输出轴上装有圆盘。转速是通过该圆盘上的一个孔与一体式透光型传感器来检测的(参见图1)。

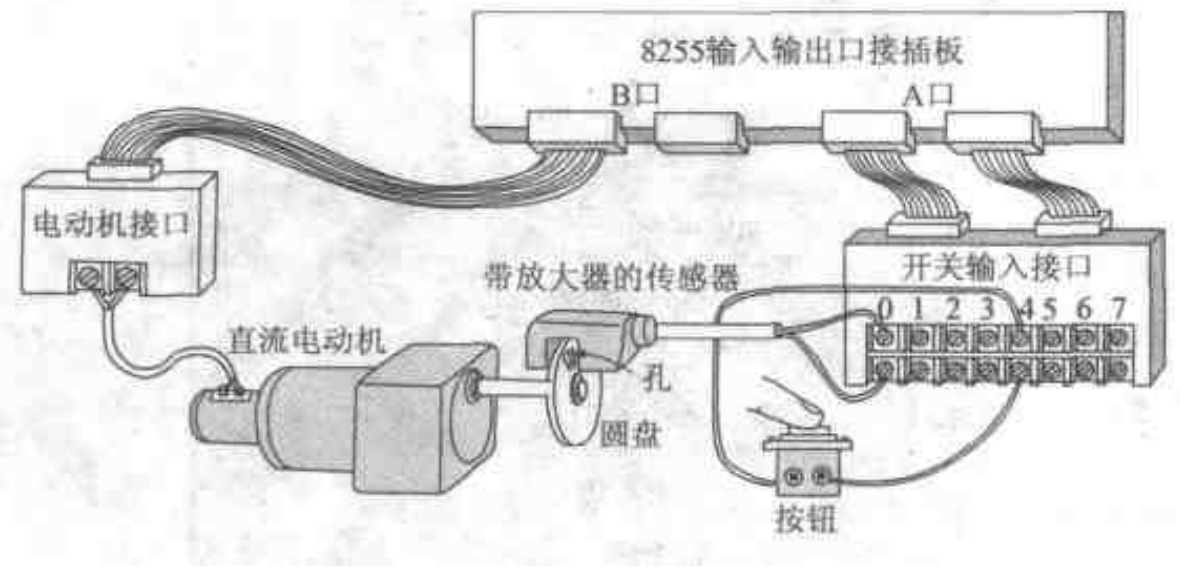


图1　直流电动机控制系统

连　接

在8255输入输出接口的B口上，接入小型直流电动机的驱动电路。通过开关输入接口分别在A口的第0位上接光传感器，在第4位上连接按钮开关。

动　作

① 若按下第4位的按钮开关，电动机开始正转。

② 用光传感器检测转速到100转为止，反转(圆盘上的孔若透光，则传感器输入“1”的信号，无孔之处，均输入“0”信号)。

③ 若反转到200转，就停止。

输入数据　　开关 ON(通)：0x10

输出数据　　正转 ON(通)：0x1

　　反转 ON(通)：0x3

程　序

```
1  int kaiten(int n,int od);
2  main ()
3  {
4          unsigned int st,stp;
5          outp (0xd6,0x90);
6          do{
7              st=inp(0xd0) & 0x10;
8          }while(st!=0x10);
9          n=100;od=0x1;
10         kaiten(n,od);
11         n=200;od=0x3;
12         kaiten(n,od);
13 }
14 kaiten(int n,int od)
15 {
16         unsigned int n,nn,nh,ls,h,od;
17         h=0x1;nn=0;
18         nh=n*2;
19         outp(0xd2,od);
20         do{
21             ls=inp(0xd0) & 0x1;
22             if(ls==h)
23             {
24                 nn=nn+1;
25                 h=~h;
26                 h=h & 0x1;
27             }
28     }while(nn!=nh);
29     outp(0xd2,0x0);
30 }
```

程序说明

1. 定义函数 kaiten()。规定函数的名称，声明变量的顺序与类型。

6～8. 在启动开关 ON(接通)之前，反复执行 do-while 语句。

7. 此语句用于输入 A 口的数据，并将该数据与 0x10 进行逻辑与(AND)运算，再将第 4 位的数据代入变量 st 中。

变量 st 若满足 8 的条件语句(不等于 0x10)则在内部进行反复循环，若不满足条件，则结束循环。

9. 将转数(100)代入变量 n，将正转启动输出数据(0x1)代入变量 od 中。

10. 调用检测转数累计值的函数 kaiten(n,od)。

11. 将转数(200)代入变量 n，将反转启动输出数据(0x3)代入变量 od。

12. 调用检测转数累计函数 kaiten(n,od)。

13. main()函数结束。

14～30. 函数 kaiten(n,od)的程序。

17. 将初始值代入变量 h,nn 中。

18. 22～27. 的 if 语句,是为了累计输入数据 ls 变化后的转数,将转数的变量 n 扩大为 2 倍。

19. 将启动旋转信号从 B 口输出。

20～28. 累计转数,用 do-while 语句判断是否是到了指定转数。

21. 将来自 A 口的输入数据与 0x1 进行按位的逻辑与(AND)运算,并代入提取转数的传感器的数据变量 ls 中。

22～27. 用 if 语句累计转数传感器的输入数据 ls 的变化次数。

22. 输入数据 ls 与 h 相等的情况下。

21. 变量 nn 加 1,nn=nn+1 是累加式。(也可以写成 nn++1)。

25. 为了看到输入数据的变化,对比较数据 h 求反。

~是按位的逻辑非运算符。

(0000000000000001)→(1111111111111110)。

26. 因为是全部的按位求反,用 0x1 进行按位逻辑与运算,就取得了第 0 位。

28. 判断是否到了指定的转数,若转数变量的累计值 nn 不等于指定的转数变化值时,则在内部反复循环,若相等就停止循环,执行下一个语句。

29. 将停止的信号输出到 B 口,结束函数 kaiten(n,od),返回主程序 main()。

★ 由于转速的检测是通过光传感器输入信号的变化时的转数累计得到的,所以合计的转速是 1/2 转数。

练习题

1. 想提取特定位的数据时,为什么要进行按位的逻辑与(AND)运算?
2. if 语句的关系运算符! =是什么意思?
3. 第 28 行的}while(nn! =nh)是什么意思?
4. ~h 是什么意思?

解答

1. 按位逻辑与(AND)运算,"与"0 则全部都是 0,"与"1 则只留下原先的 1 位。
2. 不等于;不等于时。
3. 当 nn 不等于 nh,则 do{之间的命令。
4. 按位的逻辑非,进行位的反演。

7 步进电动机的控制

用驱动控制电路IC，通过步进电机驱动电路，对步进电动机进行控制，其控制信号是脉冲信号与转向信号(参见图1)。

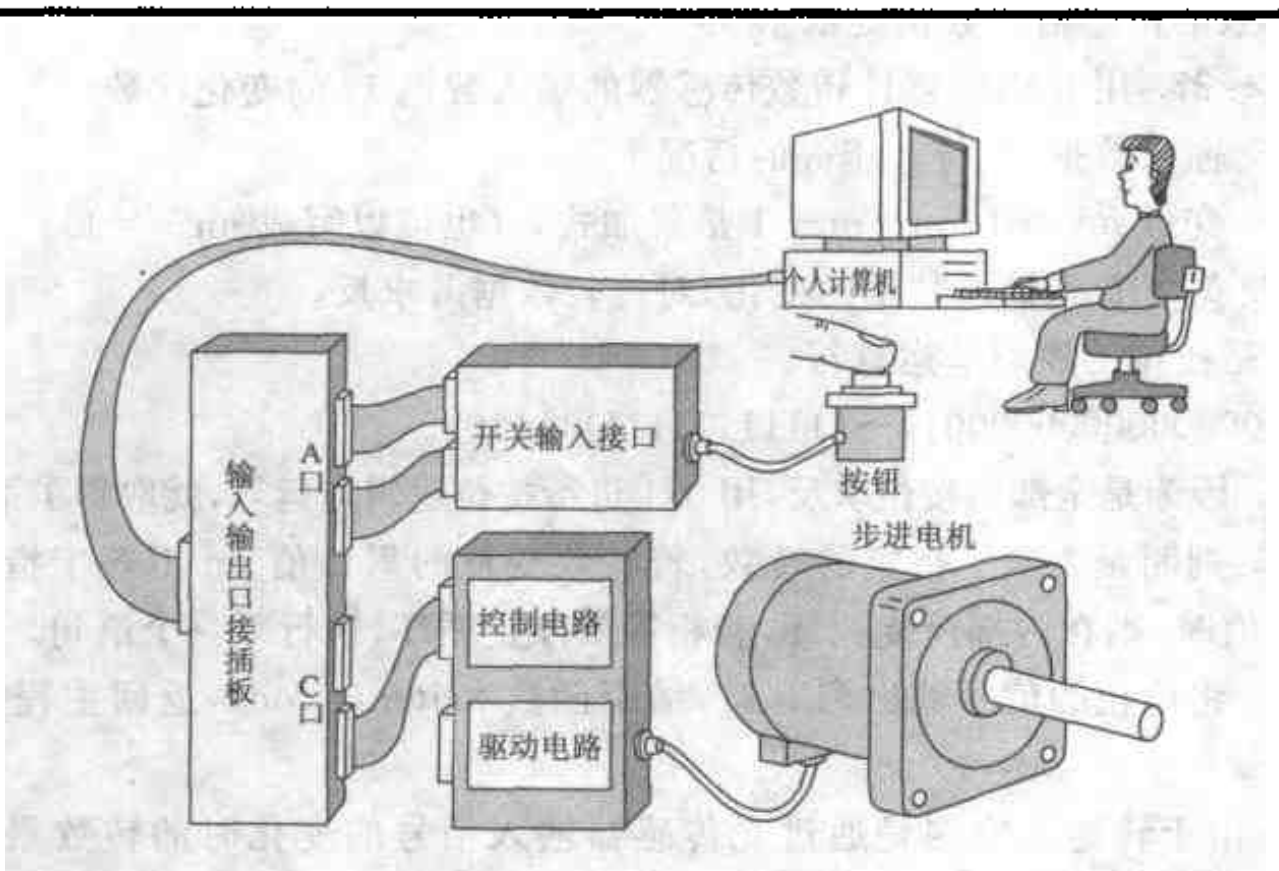


图1　步进电机控制系统

I 信号与连接

脉冲信号

脉冲信号是用0V与5V电压信号互相交替的连续信号，输入到步进电机的驱动电路中，使所连接的电动机旋转。一个脉冲的转角是1.8°。以200个脉冲转一圈。转速根据脉冲的周期来决定。若停止脉冲信号的输入，电动机就停止旋转。

通过键盘，可再次执行转数、正转、反转、启动的输入。

连　接

步进电动机的驱动电路，接在 C 口上，脉冲信号从第 0 位输出，转向信号从第 1 位输出。

II 控制程序

动 作

① 键入转向与转数(脉冲数)。

② 由键盘发出启动信号。

③ 到达指定的旋转量，就停止旋转，返回到等待输入状态。

④ 通过键盘再执行程序，停止输入。

程 序

见左侧程序

程序说明

6～32. 是控制程序反复循环，还是结束的 do-while 语句。

7～8. 用 printf()语句在屏上显示键入的内容，用 scanf()语句将键入转数代入变量 n 中。

9～24. 根据键入所对应的转向，决定转向数据 h_0 值，在没有输入的情况下，则重新执行 do-while 语句。

25～28. 在键盘输入启动电动机的指示之前，反复执行 do-while 语句。

29. 调用脉冲输出函数 pulse(n, ho)。

31. 通过键盘的输入来指示再次执行还是结束程序。

```
1  int pulse (int n,int ho);
2  main ( )
3  {
4      unsigned int n,h,ho,id,st;
5      outp (0xd6,0x90);
6      do {
7          printf ("旋转量=");
8          scanf ("%d", &n);
9          do {
10             printf ("方向(cw=1,ccw=0)=");
11             scanf("%d",&h);
12             if (h= =0)
13             {
14                 ho=0x0;
15             }
16             else if (h= =1)
17             }
18                 ho=0x2;
19             }
20             else
21             {
22                 h=2;
23             }
24         } while (h= =2);
25         do {
26           printf ("启动(1)?=");
27           scanf ("%d", &k);
28           } while (k!=1);
29         pulse (n,ho);
30         printf ("再执行一次?(是=1)");
31         scanf ("%d",&r);
32     } while (r= =1)
33 }
34 pulse (int n,int h)
35 {
36     unsigned int i,t,odh,odl;
37     for (i=1;i<=n;i++)
38     {
39         odh=ho+0x1;
40         odl=ho+0x0;
41         outp (0xd2,0dh);
42         for (t=1; t<=100;t++);
43         outp (0xd2,odl);
44         for (t=1; t<=100;t++);
45     }
46 }
```

34～36. 脉冲输出函数 pulse(n,ho)。

37～45. 用 for 语句，在脉冲数达到所指定变量 n 的值之前，反复执行 39～41 语句。

42～44. 用 for 语句，在一定时间内，保持输出。

练习题

1. 步进电动机的转速如何调整？
2. 什么是键入函数？
3. scanf()函数之前的 printf()函数有什么作用？



解答

1. 用脉冲的周期。
2. scanf()。
3. 只用 scanf()函数不能显示任何屏面，难以理解，所以要用 printf 函数在显示屏上显示 scanf 函数的内容。

Q　挑战题

① "unsigned int i;"是什么意思?

② "otpu(0xd6,0x80);"是什么意思?

③ "od<<=;"是什么意思?

④ 编写一个将变量 i 从 1 到 2000 各代入程序一次的程序命令语句。

⑤ 写出变量 r 等于 1 时,将变量 x 的内容输出到 B 口上,若不等于 1 时,则输出到 C 口上的 if 语句。

⑥ 变量的值有几种? 根据值的不同来执行程序,用什么命令?

⑦ 在 switch 语句中,相当于 if 语句中的 else 的内容是什么?

⑧ 用 goto 语句如何表示跳转的目标?

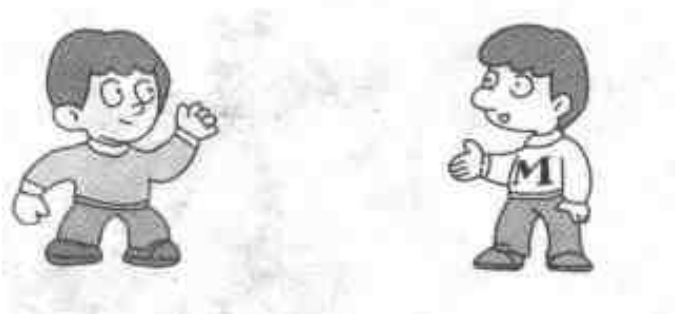
⑨ 要在数据的任一位上,提取二进制数时用什么办法好?

⑩ 汽缸的活塞如何推动?

⑪ 如何控制向汽缸的各进气口切换压缩空气?

⑫ 用光传感器检测电动机转数的基本原理是什么?

⑬ 为了使步进电机旋转,需要什么样的信号?



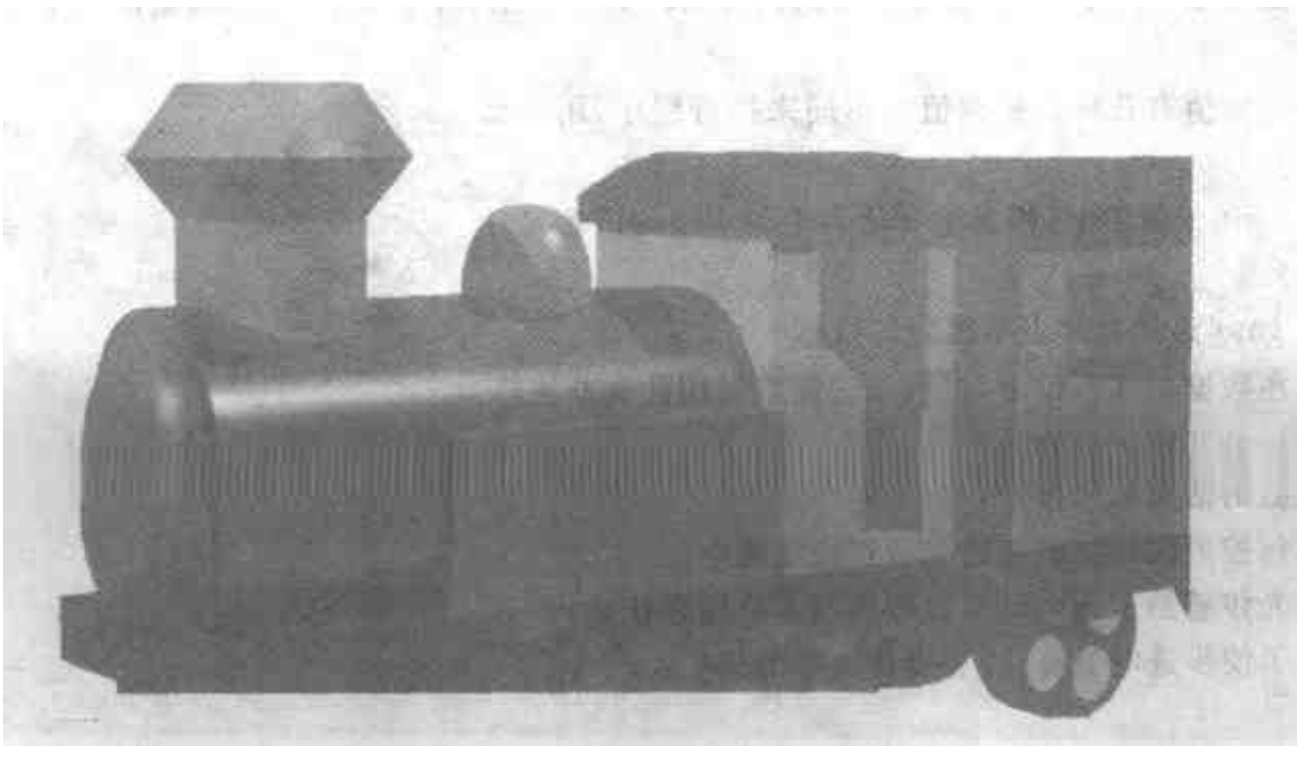
A　答　案

①将变量 i 定义为无符号的整型变量。　②将 CW 变量$(80)_{16}$输出到地址为$(d6)_{16}$的 CW 寄存器中,设定输入输出的使用条件。　③是将变量 od 的内容的二进制数值左移 1 位的命令。　④ for(i=1;i(=200;i++)。　⑤程序为:　⑥用开关语句。　⑦缺省值。　⑧指定的标记处。⑨只要将任意位设置为 1,其他位均为 0 的数据进行按位的 AND(与)逻辑运算。　⑩向动作方后端的进气口输入压缩空气。　⑪电磁阀:用电磁阀进行换向。　⑫通过旋转将光遮挡与透过来检测,其变化数为转数的 1/2。　⑬脉冲信号。

```
if(r==1)
{
    outp(0xd2,x);
}
else
{
    outp(0xd4,x);
}
```

第8章

简单装置的控制



从理论到实践、挑战简单控制

我们已经学过了简单的输入输出装置的控制，在本章将学习更多装置的控制。

照相机、电子表、电子煤气灶、洗衣机、热水器、自动门、电梯、各种自动售货机、数控机床、工业机器人、各种自动机床、铁路系统等，从身边的家用电器到大型的系统，使用计算机控制的东西非常多。由于对这些控制提出方便性、安全性等多种功能的要求，使控制也变得复杂、困难了。

第一，试制几个简单的模型来学习基本的控制。从自动控制的基本方法，以及自动机床常用的顺序控制等入手，对使用气动执行机构顺序控制的机器人进行控制。

第二，试制一个我们经常接触的自动门。因实际的自动门需要特别注意安全，控制很复杂，所以这里只学习基本的控制。

第三，试一下使用步进电机的传动装置的控制。这种传动装置正大量地用于计算机外围设备的执行机构中。

第四，试一下对铁路模型的控制。新干线均由计算机控制，为理解其基本控制方法，使用了铁路模型，但由于篇幅所限，主要学习铁路模型的基本控制。

由于大多数场合均用C语言编制的控制程序，所以这里也用C语言编的控制程序。因控制只考虑基本的内容，所以程序也只考虑基本的内容。我想作为一种学习程序，从编制简单装置的程序开始较好。对控制来说，积累技术诀窍，并在调试过程中反复修正错误，改进设计，也能取得成效。我觉得不断地学习与试验是成功的秘诀。

1 用气动执行机构的传送装置的控制

自动机床所用的执行机构大多数是电动机，但气动执行机构有其自身的特点，也用得相当多。气动操作有以下特征:

① 力量大，变速方便，容易获得高速操作(1000mm/s左右)。

② 由于气体有可压缩性，能吸收冲击，可平滑地操作。

③ 用简单的机构就可以产生直线运动或旋转运动。

④ 可在有爆炸危险的环境中使用。

我们来考察一下，想要用气动执行机构将零件从旋转圆台转送到附近的传送带上的传送装置(参见图1)。

这一装置就是使各执行机构顺序动作的顺序控制装置。

顺序控制装置与基本的计算机的控制思路是一致的，适用于计算机控制的入门。

I 装置的构造

装置是由图 1 所示的四个气动执行机构组装而成的。

执行机构组件

执行机构组件由气动执行机构、换向(电磁)阀与两个位置传感器构成(参见图 2)。

① 手爪伸缩组件

- 汽缸 A:电磁阀 A。

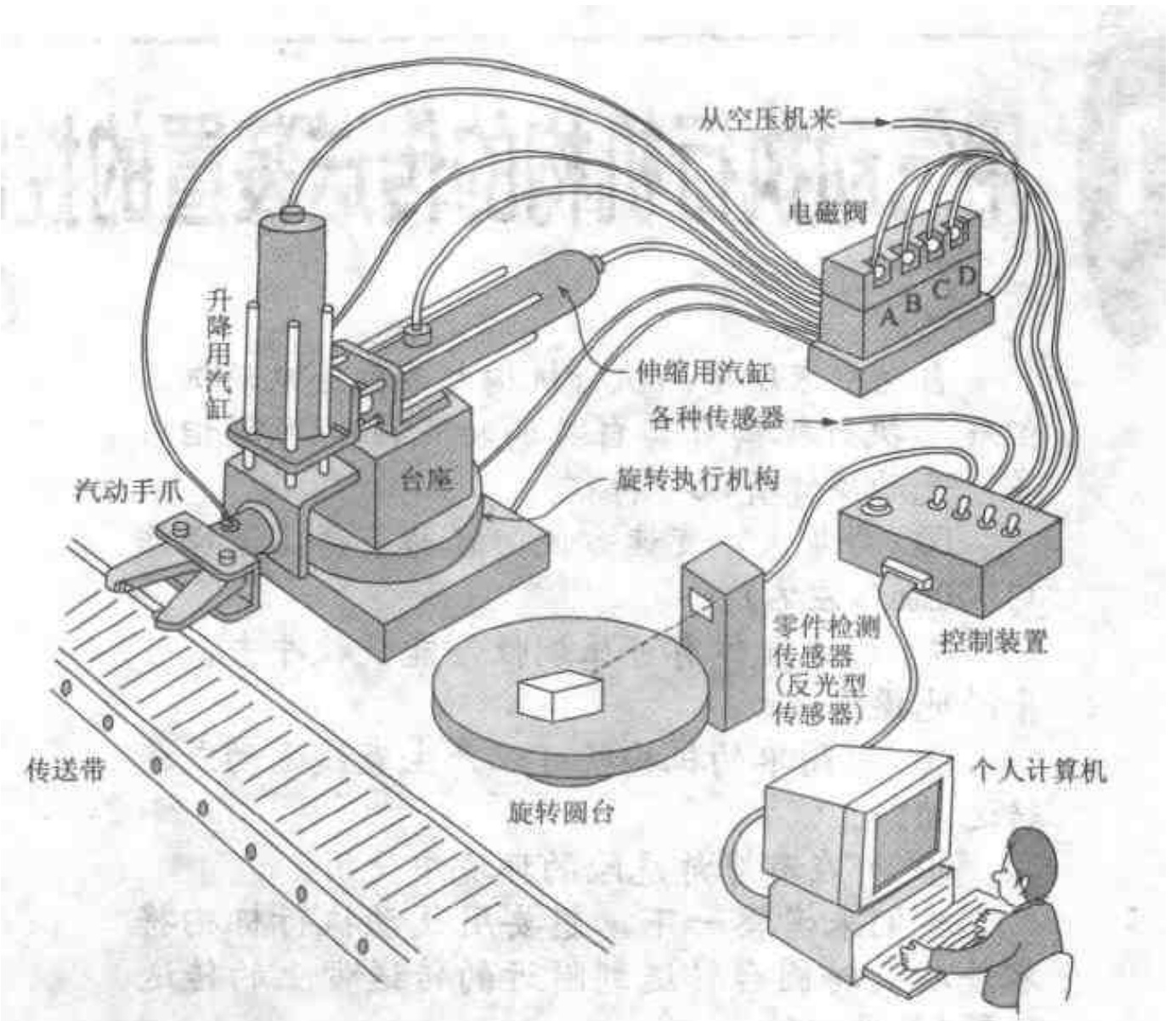


图 1　传送装置简图

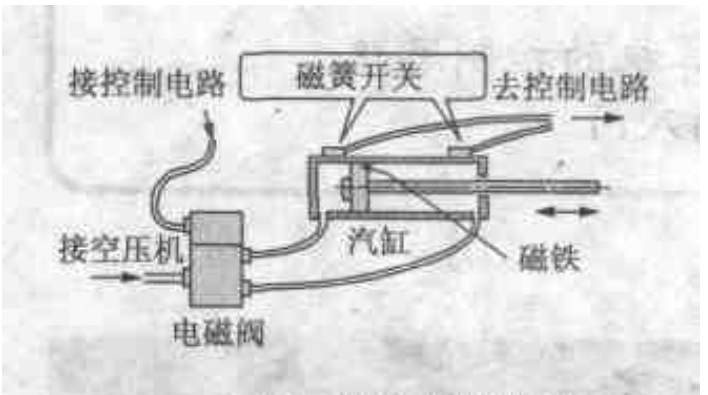


图 2　执行机构组件

• 位置传感器：SA1、SA2(磁簧开关与磁铁)。

② 手爪的升降组件

• 汽缸 B：电磁阀 B。

• 位置传感器：SB1、SB2(磁簧开关与磁铁)。

③ 手爪的转动组件

• 手爪旋转用：电磁阀 C。

• 位置传感器：SC1、SC2(磁簧开关与磁铁)。

④ 手爪

• 手爪执行机构：电磁铁 D。

• 位置传感器：SD1、SD2(磁簧开关与磁铁)。

控制装置

控制装置由执行机构控制电路、开关传感器电路与个人计算机接口电路等构成，控制要求如下：

① 主要动作

· 装置的启动与停止。当零件检测传感器或启动开关当中任意一个发出信号，就用 ON 进入启动过程，过程结束后，即等待启动输入。

· 执行机构的动作。用来自个人计算机的信号，使电磁阀动作，控制汽缸的进气方向，操作执行机构。

通过装在活塞上的磁铁，检测执行机构的端部位置，使汽缸两端的磁簧开关动作。将此信号输入个人计算机。

② 电磁阀驱动电路

来自个人计算机的信号，如图 3 所示，传输到晶体管 Tr_1 与 Tr_2，使电磁阀动作。用信号“1”使电磁阀通电动作，用信号“0”使电磁阀断电返回到起始状态。

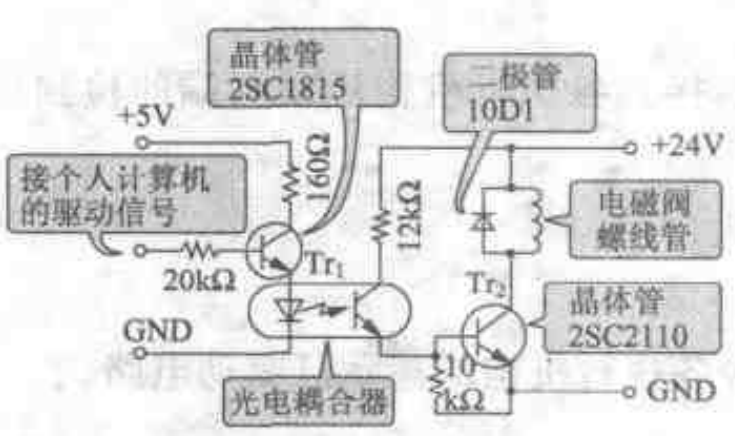


图 3　执行机构驱动电路

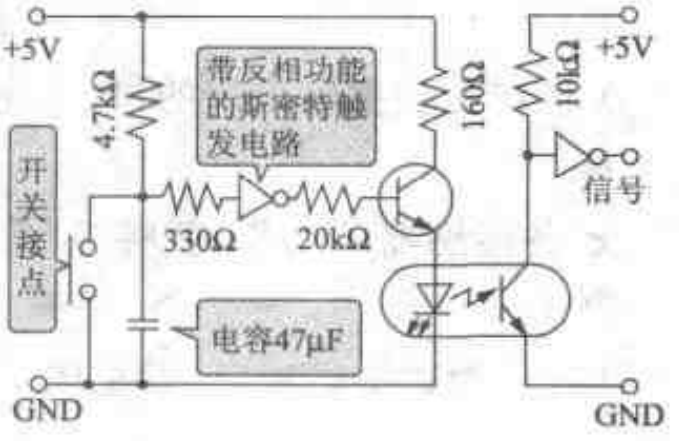


图 4　开关电路

③ 传感器开关电路

用磁簧开关来检测汽缸的位置。复位型接点要用波形整形电路，通过光电耦合器输入计算机的输入输出接口中(参见图 4)。

Ⅱ　与个人计算机的连接

将 8255 输入输出口连接到个人计算机的扩展槽中，用模式 0 设定 A 口与 C 口作为输入用，B 口作为输出，各单元的电路连接如下：

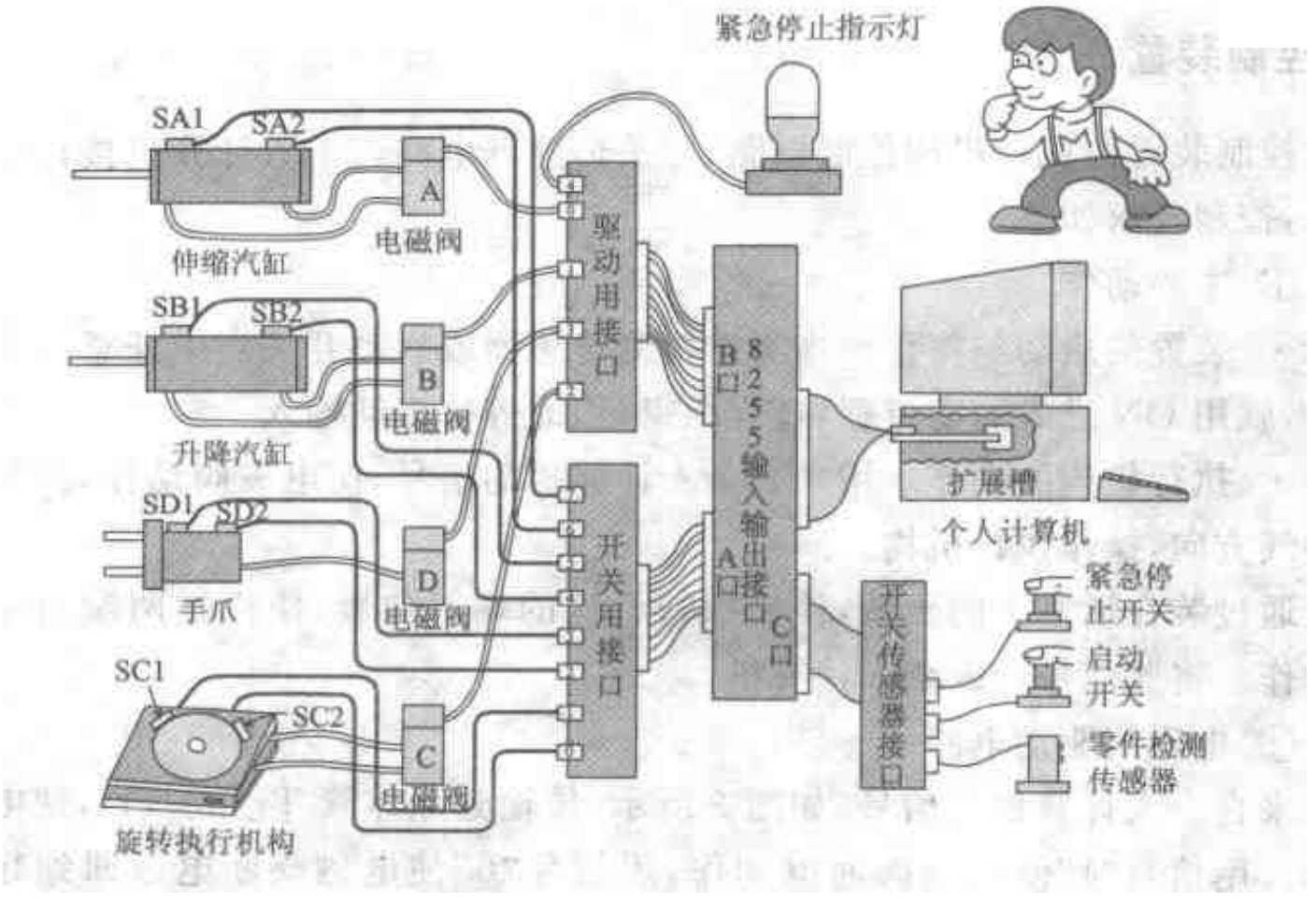


图 5　配置图

① A 口

A 口作为数据输入用的口(参见图 6),接到各执行机构运动两端的检测传感器上。

★ 各传感器若动作,就将“1”信号输入口中。

② B 口

B 口作为数据输出口(参见图 7),连接各执行机构的指示灯驱动电路。

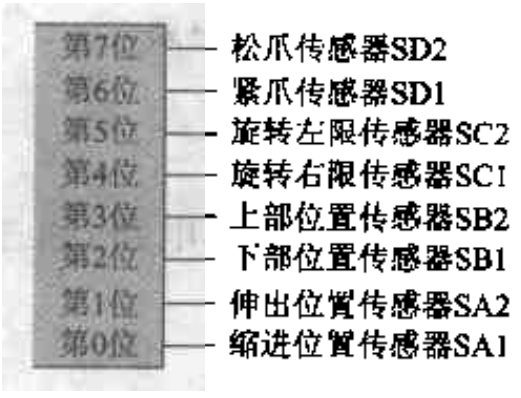


图 6　A 口连接图

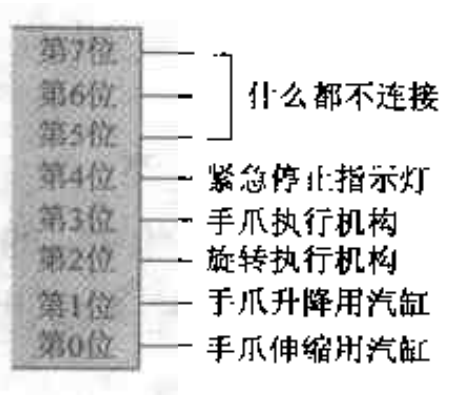


图 7　B 口连接图

- 手爪用信号 1 夹住,用信号 0 松开。
- 旋转执行机构用信号 1 右转,用信号 0 左转。
- 升降汽缸用信号 1 下降,用信号 0 上升。

• 伸缩汽缸用信号 1 伸出，用信号 0 缩回。

③ C 口

C 口用作数据输入口（参见图 8），连接开关或传感器的信号。



图 8　C 口连接图

Ⅲ　动　作

将产品从转台往传送带上转移的作业，要求按以下顺序依次反复控制。

启动——手爪伸出

① 确认零件是否在抓住的位置或启动开关是否已按下。

② 使电磁铁 A 动作，将伸缩汽缸伸出。

手爪下降

① 用位置传感器 SA2 确认伸出状态。

② 使电磁气阀 B 动作，将汽缸 B 下降。

抓住制品

① 用传感器 SB1 确认手爪处于下方。

② 使电磁阀 D 动作，用夹具执行机构将制品抓住。

夹具上升

① 用传感器 SD1 确认 C 抓住制品。

② 切断电磁阀 B 的电源，升降汽缸上升。

手爪缩回

① 用传感器 SB2 确认手爪处于上方。

② 切断电磁阀 A 的电源，伸缩汽缸缩回。

手爪左旋

① 用传感器 SA1 确认手爪处于缩回状态。

② 使电磁阀 C 动作，用旋转执行机构 C 使手爪右旋。

手爪伸出

① 用传感器 SC1 确认手爪处于右旋终端。

② 使电磁阀 A 动作，伸出伸缩用汽缸。

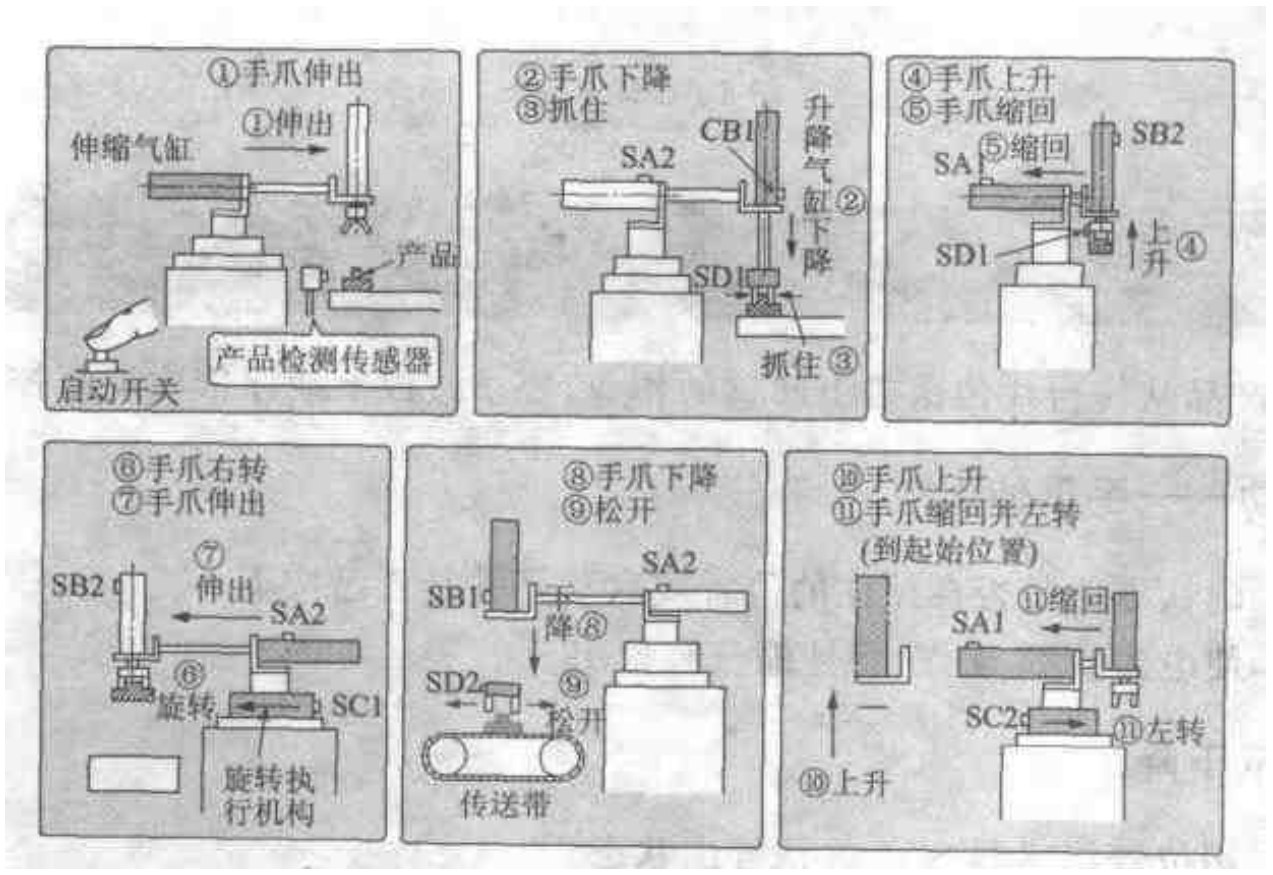


图 9　动作示意图

手爪下降

① 用传感器 SA2 确认手爪处于伸出位置。

② 切断电磁阀 B 的电源，降下升降汽缸。

放下制品

① 用传感器 SB1 确认手爪处于下方。

② 切断电磁阀 D 的电源，松开手爪执行机构，放下制品。

手爪上升

① 用传感器 SD2 确认手爪已松开。

② 切断电磁阀 B 的电源，升降汽缸上升。

缩回手爪并左旋

① 用传感器 SB2 确认手爪处于上方。

② 切断电磁阀 A 与电磁阀 C 的电源，使伸缩汽缸缩回，同时使旋转执行机构右旋，返回起始位置。

★ 随时随地确认紧急停止开关的输入，若有输入时，则将紧急停止信号输出到上一级的控制装置，结束程序。

操作的输入输出信号示于表 1

表 1 各行程的输入输出数据表

操作行程	行程开关启动条件输入数据(输入口) A口 7	6	5	4	3	2	1	0	C口 7	6	5	4	3	2	1	0	行程开关输出数据(输出口) B口 7	6	5	4	3	2	1	0
	抓紧手爪	松开手爪	右旋	左旋	下降	上升	伸出	缩回						紧急停止	启动开关	零件检测				紧急停止	松0紧1	右旋1左旋0	升0降1	伸1缩0
①启动、手爪伸出	第1个行程的启动条件，是C口的输入数据								零件检测传感器				0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
													(1)16				(1)16							
②手爪下降	0	1	0	1	0	1	1	0	操作启动开关				0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	(56)16												(2)16				(3)16							
③爪住工件	0	1	0	1	1	0	1	0	操作紧急停止开关				0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
	(5a)16												(4)16				(b)16							
④手爪上升	1	0	0	1	1	0	1	0									0	0	0	0	1	0	0	1
	(9a)16																(9)16							
⑤手爪缩回	1	0	0	1	0	1	1	0									0	0	0	0	1	0	0	0
	(96)16																(8)16							
⑥手爪右旋	1	0	0	1	0	1	0	1									0	0	0	0	1	1	0	0
	(95)16																(c)16							
⑦手爪伸出	1	0	1	0	0	1	0	1									0	0	0	0	1	1	0	1
	(a5)16																(d)16							
⑧手爪下降	1	0	1	0	0	1	1	0									0	0	0	0	1	1	1	1
	(a5)16																(f)16							
⑨松开工件	1	0	1	0	1	0	1	0									0	0	0	0	0	1	1	1
	(aa)16																(7)16							
⑩手爪上升	0	1	1	0	1	0	1	0									0	0	0	0	0	1	0	1
	(6a)16																(5)16							
⑪手爪缩回并左旋90度	0	1	1	0	0	1	1	0									0	0	0	0	0	0	0	0
	(66)16																(0)16							



Ⅳ 将以上的动作编制为程序

① 程序 1

由于“从确认输入信号→执行装置的动作”这一连串操作要反复 11 次，可

作为一连串的动作来设计程序。但第一行程有两种不同的启动输入。

① 将输入口(地址＝wwww)的数据输入变量 indt 中。

② 要将变量 indt 的输入值与必要的输入数据(xxxx)比较是否相同。

③ 不同则反复执行②、③。

④ 若相同则将使执行机构动作的数据(yyyy)输出到 B 口(地址＝$(d2)_{16}$)。对此用 do-while 语句写成如下程序：

```
do{
    indt=inp(wwww);
}while(indt!=xxxx);
outp(0xd2,yyyy);
```

② 设置变量

由于口地址与数据是根据操作不同而不同的，设置变量是以反复 10 次动作作为结束一件工作，以此作为无条件循环的程序为：

```
for (;;)
 {
   for (i=0;i<=9;i++);
    {
      do{
      indt=inp(0xd0);
      }while(indt!=stdt [i]);
      outp(0xd2,outd [i]);
    }
}
```

在此程序之前，必须编写设置变量的声明并将数据代入变量的程序。

```
设置变量声明与初始化的例子
    unsigned int
outd[10]={0x22,0x33,0x44,0x55,0x66,0x88,0x99,0xaa,
0xbb};
    [ ]表示设置变量的数,从outd[0]起依次代入{ }
内的数据。
```

③ 紧急停止信号的处理

因需要随时对紧急停止信号进行检查，所以一般用中断功能来处理，这里只考虑用程序来处理。输入了紧急停止信号时的处理，点亮紧急停止指示灯，并使程序停止执行。

处理程序如下：

```
1  for (;;)
2  {
3    hj=inp(0xd4);
4    hj=hj&0x4;
5    if (hj= =0x4)
6      {
7            outp (0xd4,0x10);
8            break;
9      }
10 }
```

④ 程序

将以上的程序合成一个程序，如下页所示，在第 7 章第 5 节中，汽缸控制所用的是 switch-case 语句，在这里则用设置变量与 for 语句。

⑤ 程序说明

4～5 中进行两个变量的设置与初始值的设定。

6～31 的 for(;;)为对全行程(11 行)进行无条件循环。当用 20～26 检测到紧急停止信号时，则跳出循环，结束程序。

17～30 行 for(i=0;i<=9;i++)是将 19～29 行执行 10 次，根据设置变量而按不同的行程执行。

19～28 行 do-while 语句是对紧急停止信号的监视处理和行程启动输入的检查。若有启动行程的数据输入，则用 29 行将该行程操作数据输出。

21 行按位逻辑与运算，用于要提取特定位时。

由于紧急停止的检测必须是独立的，与其他输入信号无关，所以要提取第 2 位的信号，以 0x4(0000 0100)为输入数据进行按位逻辑与运算。

25 行 goto 语句，跳转到标记为 owari(结束)处，跳出三重循环圈，结束程序的运行。

前页的程序是用 break 语句跳出循环的，因有三重循环，所以用 goto 语句跳出。

★ 标记用(冒号)":"设置，置于执行语句的开头或单独一行中。

⑥ 汽缸传送装置控制程序

```
1  main()
2  {
3      unsigned int i,hj,sns;
4      unsigned int stdt[10]={0x56,0x5a,0x9a,0x96,0x95,0xa5,
           0xa6,0xaa,0x6a,0x66};
5      unsigned int outd[10]={0x3,0xb,0x9,0x8,0xc,0xd,0xf,0x7,
           0x5,0x0};
6    for(;;)
7    {
8        for(;;)
9        {
10           sns=inp(0xd4);
11           if(sns==0x1||sns==0x2)
12           {
13               break;
14           }
15       }
16       outp(0xd2,0x1);输出第一行程的动作数据
17       for(i=0;i<9;i++)
18       {
19           do{
20               hj=inp(0xd4);
21               hj=hj&0x2;
22               if(hj==0x2)
23               {
24                   outp(0xd4,0x10);
25                   goto owari;
26               }
27               sus=inp(0xd0);
28           }while(sns!=stdt[i]);
29           outp(0xd2,outd[i]);
30       }
31   }
32 owari:;
33 }
```

各行程启动信号的输入数据

各行程输出数据的地址

配置变量的定义与初始化

在零件传感器或启动开关操作之前，对输入进行无条件地循环判断

无条件循环的for语句，有紧急停止输入信号的场合，跳出循环圈

依次代入第10行的设置变量，执行10次行程

监视紧急停止信号的输入，有输入的情况下，输出紧急停止指示灯的亮灯数据并结束程序

在位置传感器信号的输入数据等于行程的启动数据之前，反复地进行判断



2 简单自动门的控制

说句“芝麻开门”，可以使山洞的石门打开，以前是靠魔法的力量，现在则要用声音传感器系统与判断语言的电动执行机构来考察一下，能否使石门打开。自动门大多用在进出人流大的场所。自动门应用的是什么样的机构？怎样进行控制？这里对有关自动门的课题作一下探讨，并假设一个试验用的自动门，编制对它进行控制的程序。

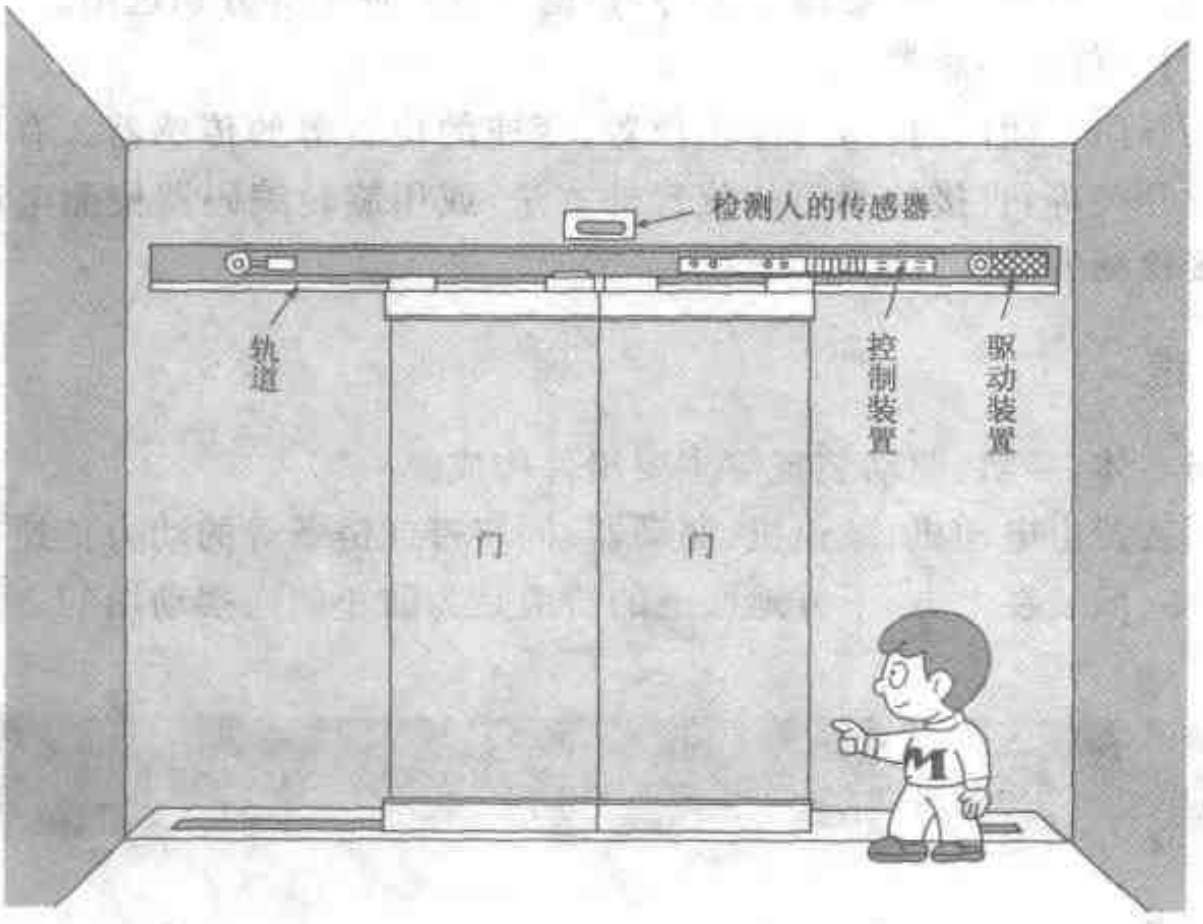


图 1　自动门

Ⅰ　自动门的构造

动力源与执行机构

一般的自动门是由某种动力源与执行机构组成的(参见图 1)。

① 动力源

尽管动力源有电气、液压、气动装置等,但一般建筑物的自动门都用电气动力源。

② 执行机构

尽管执行机构根据动力源有电动机、油缸、汽缸等,但一般采用电动机。

传感器

用来检测分析门前有没有人,门正在开还是正在关等状态。

① 检测人的传感器

检测人的传感器有超声波传感器、热电传感器(感热型),光传感器(透射型、反射型)。罩面开关、触摸开关等,根据使用的环境等分别选用。

② 门的位置传感器

确认开门与闭门时,门的停止位置、变速的位置等的传感器。有用限位开关或接近开关等,直接检测门的位置的方法,或用旋转编码器检测电动机的转数的间接检测方法。

构　造

由门本体、导轨、驱动装置等主要组件构成。

驱动装置由电动机、减速机、制动器、同步带或链条等的动力传递部件等构成。主轨一般装在上方,下方地面上的轨道是为防止侧向摆动用的。

Ⅱ　控制假想的自动门

构　造

假想的自动门控制如图 2 所示

① 控制动作

检测到人时就开门,确认没有人,则过一定时间后闭门。开门动作从低速

到高速，通过二级加速度到达正常速度，在停止之前，通过二级减速度，并用制动器制动。

② 采用单方向开门方式

在上部装有无侧向松动的轨道。

③ 驱动方式

使用带减速机与制动器的直流电动机(额定值为 24V、50W)。用同步带与同步带驱动轮向门传递动力。

④ 人的检测

用设置在门内外侧的超声波传感器，检查有没有人。

⑤ 停止位置与开始位置

在闭门端与开门端的低速运行开始位置与停止位置，均设置位置检测用的限位开关。

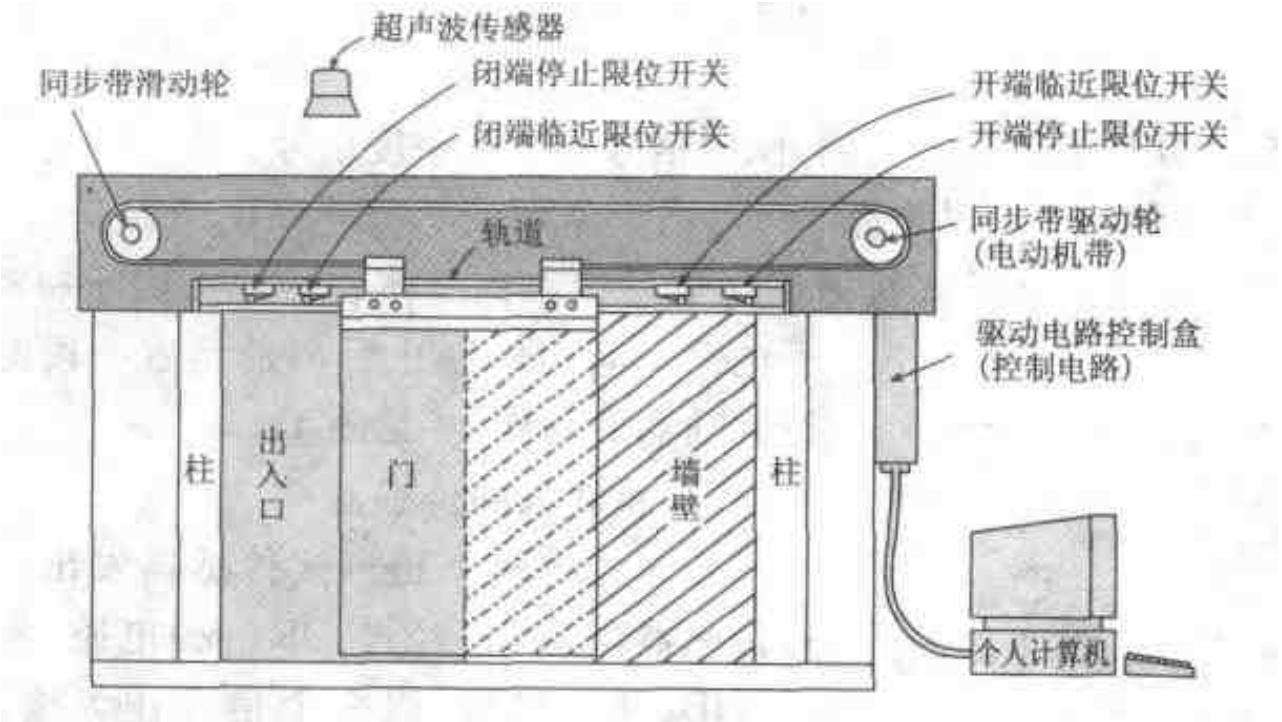


图 2 假想的自动门

控制电路与个人计算机的连接

① 个人计算机端的接口

使用 8255 并行数据输入输出接口的模式 0，设定 A 口为输入口，B 口为输出口(参见后面"口连接"部分)。

② 电动机驱动电路

开、闭门的电动机如用图 3 所示，正(开)、反(闭)转时使用 4 个晶体管 Tr_1、Tr_2、Tr_3 及 Tr_4 作为驱动控制，用晶体管 Tr_1、Tr_2 的基极电压与电阻作为三级

变速控制，来分级改变施加到电动机上的电压。

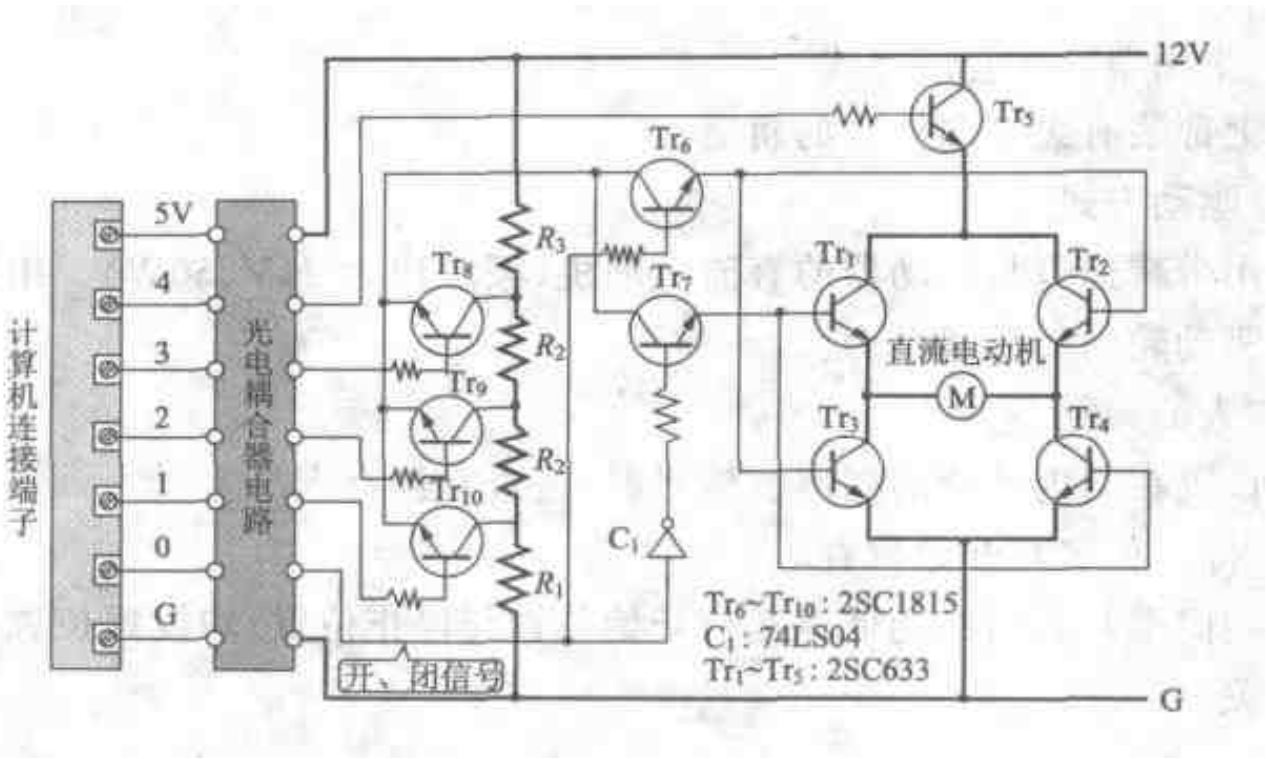


图 3 电动机驱动电路

来自计算机的信号是门的开、闭信号和三个速度信号。

③ 制动器动作驱动电路

制动器操作是将计算机的制动信号输入到晶体管，接通、切断制动器的驱动电路。电动机停止后稍稍延迟一段时间再进行制动器的动作(参见图 4)。

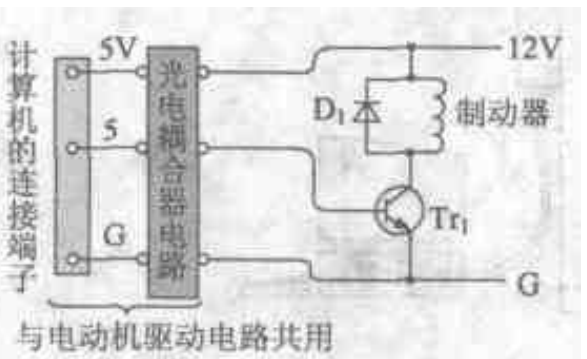


图 4 制动器动作驱动电路

④ 检测人的传感器

门内外的两个超声波传感器发出的信号经过传感器电路，再经过 OR(或)电路(实际使用 NAND(与非))后，以一个信号作为输入(参见图 5)。

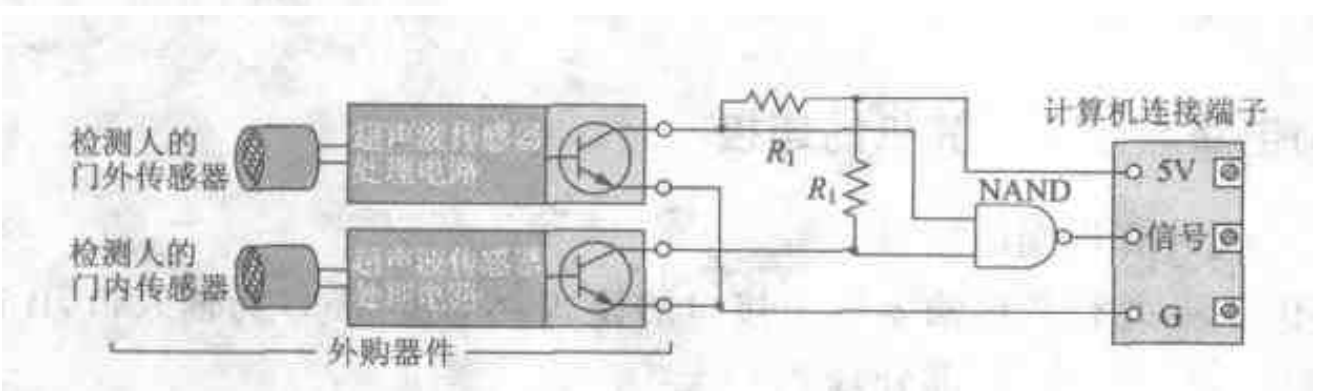


图 5 检测人的传感器

⑤ 开关输入

限位开关或按钮开关的信号，通过信号波形整形电路输入。在开门行程和闭门行程中，有临近传感器与停止传感器。

· 临近传感器

临近传感器是检测临近停止位置时要变换门的运行速度用的限位开关。

· 停止传感器

停止传感器是检测使门停止位置的限位开关。

· 紧急开关

紧急开关是在检测人的传感器失灵等场合，对付异常事态用的开关。

I/O口连接

如图 6 所示，将输入装置接到输入输出口。



图 6　I/O口连接图

基本动作

① 从检测人的传感器起作用开始，就对处于范围内的人进行监视。

② 当检测到人的信号时，就开门。

门以低速开 0.5 秒后进入中速，并从临近闭端起，开始常速运行。

③ 若开端的临近检测传感器检测到门，则使开门经过 0.5 秒后，由中速运行进入低速。

④ 当开端的停止传感器检测到门，门就停止运行。

⑤ 门开一段时间，当检测人的传感器确认无人后，闭门。

⑥ 闭门行程也从闭门开始到结束附近，改变运行速度，平滑地运行。

⑦ 在门运行过程中，用检测传感器监视人，若检测到人，则返回开门行程。

⑧ 门的停止运行是切断电动机的电流，约 0.5 秒后，使制动器起作用。开门时，当制动器松开约 0.5 秒后，使电动机运行。

★ 检测人　为了安全，在闭门运行过程中，必须始终用检测人的传感器检测是否有人，检测有人的情况下，立即停止闭门，并运行开门的行程。

Ⅲ　程　序

编制一个汇总这些操作的程序。

定　义

为了编制程序方便，用 # define 语句设置口地址与常用的带名称的输入输出数据，名称为了易于识别，一律用大写英文字母。

■　口地址

```
# define APORT 0xd0…A 口地址
# define BPORT 0xd2…B 口地址
# define CPORT 0xd4…C 口地址
# define CWREG 0xd6…CW 寄存器地址
```

■　输入数据

```
# define HITOKEN 0x10…检测人的数据
# define OPNTEMAE 0x1…开端临近传感器
# define OPNTEISI 0x2……开端停止传感器
# define CLSTEMAE 0x4…闭端临近传感器
# define CLSTEISI 0x8……闭端停止传感器
```

■　输出数据

```
# define OPN 0x19……开门运行
# define OPL2 0x15……  开门中速
# define OPL1 0x13……  开门低速
# define OPNSTP 0x1…  门全开停止
# define CLS 0x18…… 闭门运行
# define CLSL2 0x14…… 闭门中速
# define CLSL1 0x12…… 闭门低速
# define CLSSTP 0x0……门全闭停止
# define BRAKE 0x20……制动
```

函　数

对于反复输入、判断处理的动作，仅数据有变化时，可将共同部分的程序编

人函数中。因根据处理有判断一次与两次的情况，可编制两个判断处理函数（参见图 7）。

人的检测在闭门运行过程中或在闭门状态下都是必要的，并且此检测与其他的检测不发生关系，所以要将输入数据与人的检测数据进行按位逻辑与（AND）运算，仅提取人的检测数据。

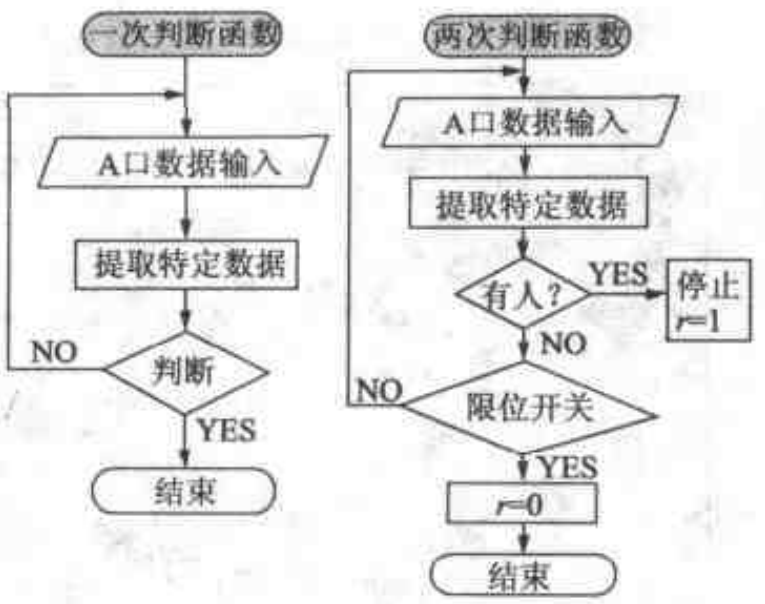


图 7　函数流程图

函数程序

函数-1　检测人的传感器，对是否检测到人进行判断等，作为一次判断函数程序，用 do-while 语句编写。

函数-1程序<一次判断>

```
1  handan1(unsigned int nyur) ———— nyur是形参，用于通过调用函数程序来输入数据。
2  {
3        unsigned int date;
4        do{ ————————————————
5              date=inp(APORT)&nyur;
6        }while(date !=nyur); ————
7  }
```

do-while语句，用于当变量date的内容不等于形参nyur的内容时，进行反复地循环处理。(处理：将A口的输入数据与形参nyur进行运算，并代入变量date中。)当do-while语句不成立(变量date的内容与形参nyur的内容相等时)的场合，将此函数程序结束。

函数-2　将检测人的传感器与门的位置传感器，作两次判断与处理的函数程序，编制成用无条件循环的 for(;;)语句与 if(　)语句编写的函数程序。

函数-2的程序<两次判断>

```
1  handan2(unsigned int nyu1);
2  {
3        unsigned int x,h,r;
4        for(;;)
5        {
6              x=inp(APORT);
7              h=x&HITOKEN;
8              if(h= =HITOKEN)
9              {
10                   outp(BPORT,OPNSTP);
11                   r=1;retune(r)
12                   break;
13             }
14             else if (x= =nyu1)
15             {
16                   r=0;retune(r)
17                   break;
18             }
19       }
20 }
```

无条件循环。

从12:与17:的break语句中跳出。

将A口的输入数据代入变量x中。

<检测人>
当变量h的内容与识别值HITOKEN(检测到人的数据)相等时，将识别值OPNSTP(停止)输出到B口，将1返代入变量r中，于是用break语句跳出for(;;)语句的无条件循环，函数程序结束。

<传感器的检测>
当变量x的内容与形参nyu1相等时，将0返代入变量r中，于是用break语句跳出for(;;)语句的无条件循环，函数程序结束。

使用本节的定义了函数，编制的 main 函数程序：

```
1   main()
2   {
3           unsigned int in,in1,in2,in3,ot,ot1,ot2,r;
4           outp(cwreg,0x90);
5           for(;;)
6           {
7                   handan1(HITOKEN);
8   hiraki:         outp(BPORT,OPNL1);
9                   for(t= =1;t<=50;t++)
10                  {
11                      handan1(CLSTEMAE);
12                  }
13                  outp(BPORT,OPNL2);
14                  handan1(CLSTEMAE);
15                  outp(BPORT,OPN);
16                  handan1(OPNTEMAF);
17                  outp(BPORT,OPNL2);
18                  for(t= =1;t<=50;t++)
19                  {
20                      handan1(OPNTEISI);
21                  }
22                  outp(BPORT,OPNL1);
23                  handan1(OPNTEISI);
24                  outp(BPORT,OPNSTP);
25                  for(t= =1;t<=10;t++);
26                  outp(BPORT,BRAKE);
27                  for(t= =1;t<=20000;t++);
28                  do{
29                      d=inp(APORT)&HITOKEN;
30                  }while(d= =HITOKEN)
31                  outp(BPORT,0x0);
32                  for(t= =1;t<=10;t++);
33                  outp(BPORT,CLSL1);
34                  for(t= =1;t<=50;t++)
35                  {
36                      handan2(HITOKEN,OPNSTP,OPNTEMAE);
37                  }
38                  if(r= =1)
39                  {
40                      goto hiraki;
41                  }
42                  outp(BPORT,CLSL2);
43                  for(t= =1;t<=50;t++)
44                  {
45                      handan2(HITOKEN,OPNSTP,OPNTEMAE);
46                  }
47                  if(r= =1)
48                  {
49                      goto hiraki;
50          }       outp(BPORT,CLS);
51                      handan2(HITOKEN,OPNSTP,CLSTEMAE);
52                  if(r= =1)
53                  {
54                      goto hiraki;
55                  }
56                  outp(BPORT,CLSL2);
57                  for(t= =1;t<=50;t++)
58                  {
59  handan2(HITOKEN,OPNSTP,CLSTEISI);
60                  }
61                  if(r= =1)
62                  {
63                      goto hiraki;
64                  }
65                  outp(BPORT,CLSL1);
66  handan2(HITOKEN,OPNSTP,CLSTEISI);
67                  if(r= =1)
68                  {
69                      goto hiraki;
70                  }
71                  outp(BPORT,CLSSTP);
72                  for(t= =1;t<=10;t++);
73                  outp(BPORT,BRAKE);
74          }
75  }
```

将实参代入检测值，调用函数handan1

低速运行开门

在校验闭端临近传感器起作用的同时，保持低速1运行一段时间

中低速运行开门

校验闭端临近传感器的作用

正常速度运行开门

校验闭端临近传感器的作用

中速运行开门

在校验开端停止传感器起作用的同时，保持中速运行一段时间

低速运行开门

校验开端停止传感器的作用

使门停止运行

定时间后，使制动器动作

定时间内，保持开门状态

确认没有人

松开制动器

定时间后，门开始运行，低速运行闭门

在校验检测人与开端临近的传感器起作用的同时，低速运行一段时间

在r中返代入1的场合，执行标记为hiraki的语句。(检测有人的情况)

中速运行闭门

在进行人的检测与开端临近传感器起作用检测的同时，中速运行一段时间

将1返代入r的情况下，执行标记为hiraki的语句

正常速度运行闭门

将1返代入r的情况下，执行标记为hiraki的语句

中速运行闭门

在进行人的检测与闭端停止传感器起作用检验的同时，中速运行一段时间

将1返代入r的情况下，执行标记为hiraki的语句

低速运行闭门

检验检测人的传感器与闭端停止传感器的作用

将1返代入r的情况下，执行标记为hiraki的语句

停止闭门

定时间后，使制动器起作用



3 用步进电动机的传送装置的控制

步进电动机有着低功耗、可频繁启动、停止的特点，已作为驱动电动机广泛用于打印机、硬盘存储装置等计算机的外围设备上。

现在设置一台用步进电动机的传送装置，设计一下它的控制程序。

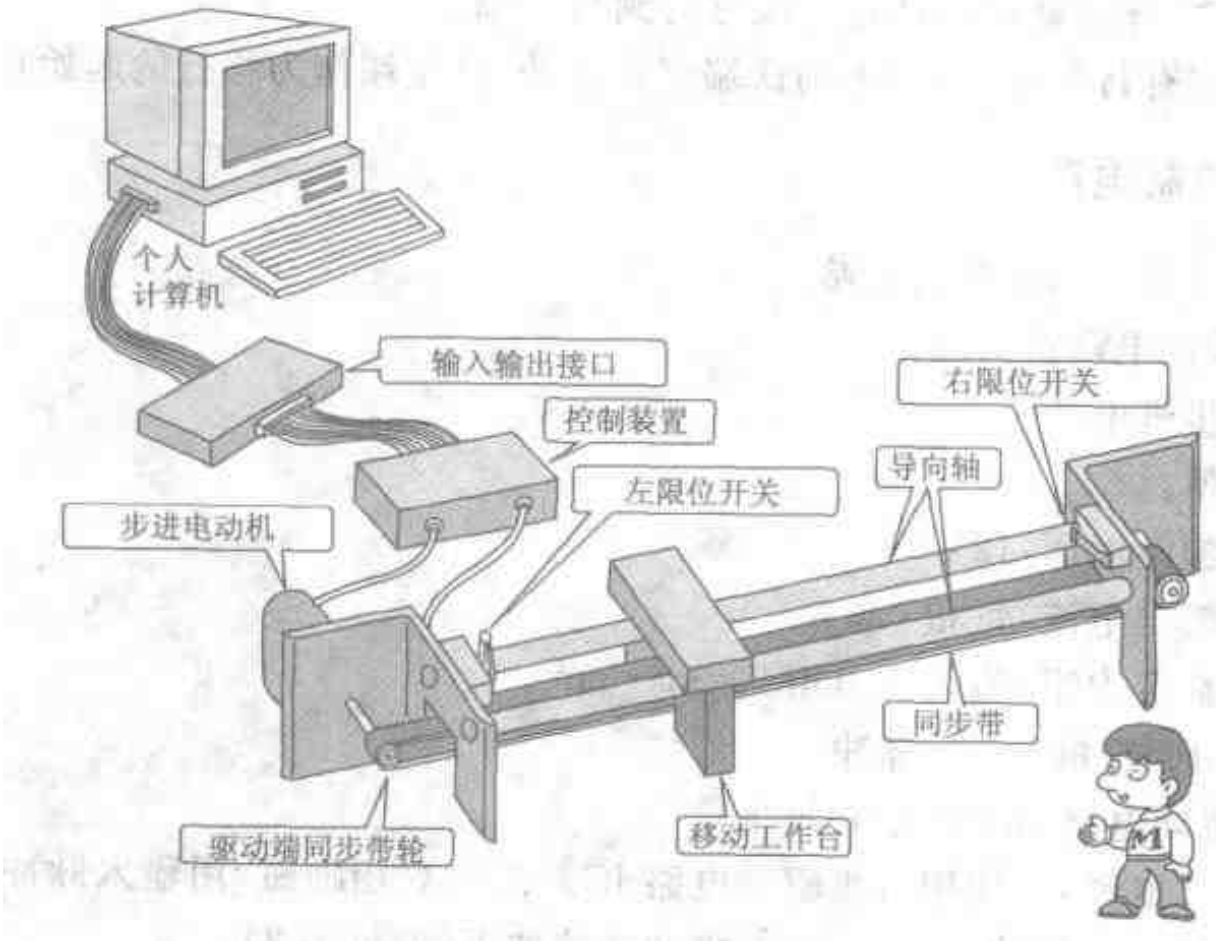


图 1　传送装置构造图

I 步进电动机传送装置

如图 1 所示，设计一个直线运动的移动工作台。

构　造

通过同步带轮与同步带，将步进电动机的旋转运动转化为直线运动，使移动工作台左右移行，移动工作台用两根笔直的导向轴进行导向。

使用同步带轮与同步带，是为了使电动机的旋转精确无滑动地传送到移动工作台。

使用每个脉冲 1.8°的步进电动机，同步带的齿距为 2.0mm，同步带轮的齿数为 20 的话，则每一转可使移动工作台移动

$$2.0\times20=40.0$$

即 40mm。步进电动机每 200 个脉冲旋转一周，则每一个脉冲的移动量为

$$40.0\div200=0.2$$

即 0.2mm。也就是说，此传送装置的控制精度是 0.2mm。

若最大移动量为 300mm。

$$300\div0.2=1500$$

即用 1500 个脉冲就可以从这一端移行到另一端。

两端装有行程开关，用于确认端部。另外，以左端作为移行的起始点。

驱动控制电路

(1) 步进电动机控制电路

① 步进电动机的规格

双相步进电动机

额定值：

额定电压：12V

额定电流：每相 0.3A

额定力矩：最大静力矩 2.2kg·cm

步 进 角：1.8°/脉冲

② 驱动电路 IC(东芝 TD62803T)

为简化电路，可使用市售驱动电路 IC。使用双相励磁，用输入脉冲信号与转向信号的方法驱动。主要 IC 引脚的连接如下(参见图 2)。

引脚 1：转向信号输入(高(1)右转、低(0)左转)。

引脚 2：高(1)
引脚 3：低(0) } 设定双相励磁驱动
引脚 4：低(0)

引脚 6：电动机的黑色线
引脚 7：电动机的红色线
引脚 9：电动机的绿色线
引脚 10：电动机的蓝色线
} 驱动电流流向地。

引脚 14：脉冲信号输入。

（流入的最大驱动电流，每一引脚为 0.4mA。）

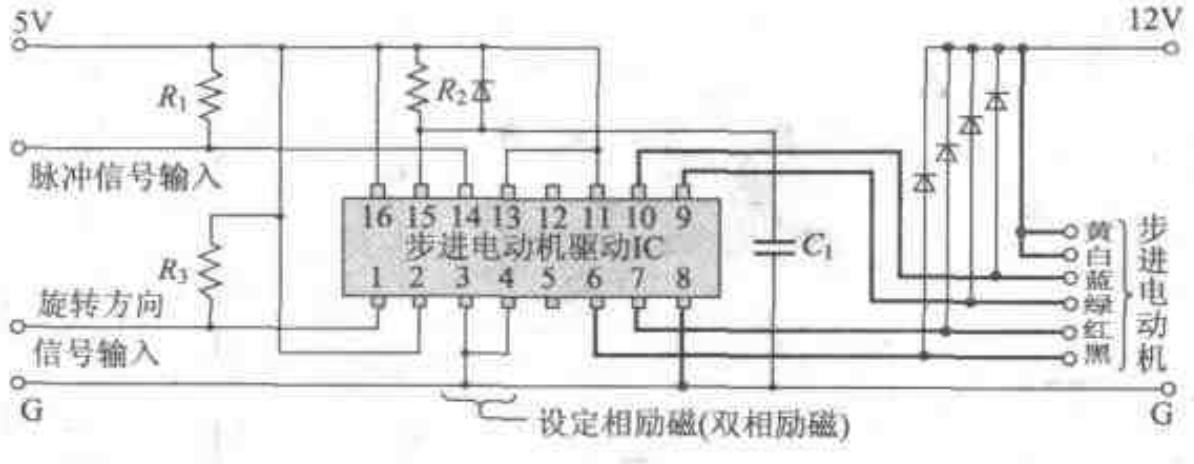


图 2　步进电动机驱动电路 IC

③ 脉冲信号

脉冲信号可通过脉冲发生电路与通过计算机两种方法来产生。在以固定频率驱动步进电动机的场合，使用脉冲发生电路，而在使用各种不同频率来驱动步进电动机的场合，则用计算机来产生脉冲。

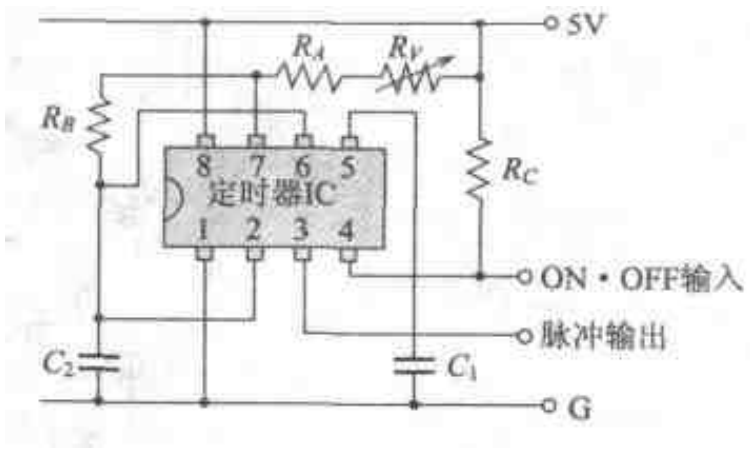


图 3　脉冲发生电路

④ 脉冲发生电路

用定时电路 IC(555)来制作产生脉冲的电路(多谐振荡器)，通过半可调电阻 R_v 来调节脉冲频率(参见图 3)。

引脚 4 设置为高(1)时产生脉冲，而低(0)时停止产生脉冲。

脉冲信号从引脚 3 输入。

(2) 控制电路

① 计算机控制与手动操作的选择

转向信号用开关 SW_1，脉冲信号用开关 SW_2，是否用来自计算机的信号，通过手动开关来选择(参见图 4)。

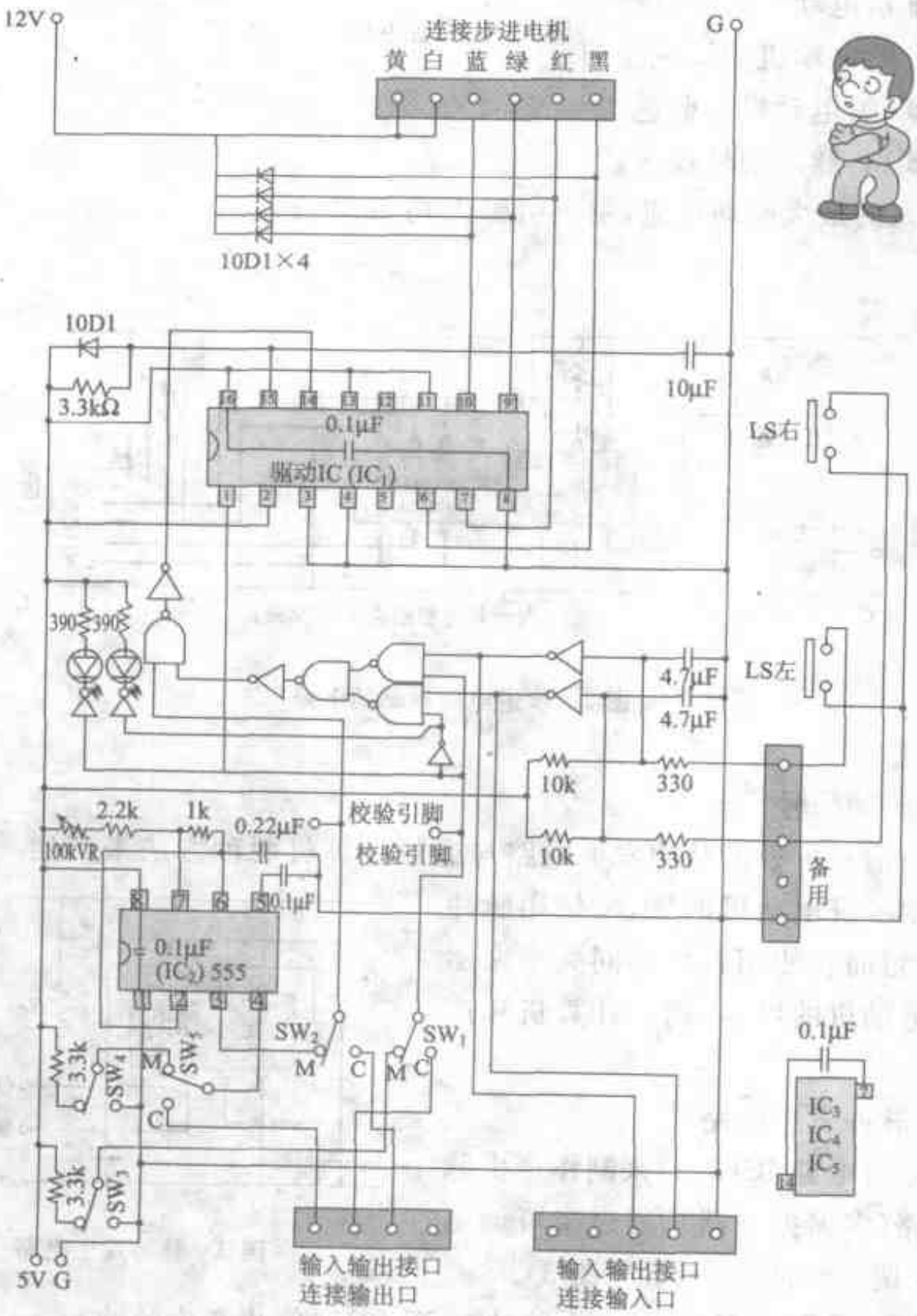


图 4　步进电动机控制电路

② 手动操作

· 将开关 SW_1、SW_2 设定在手动操作位置(参见图 5)。

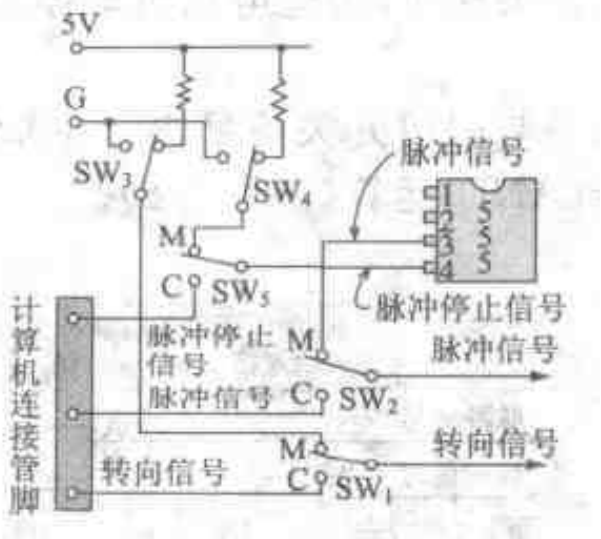


图 5　手动操作开关的设定

- 用开关 SW_3 设定转向。
- 用开关 SW_4 使脉冲停止。

③ 计算机控制

可使用以下两种方法：

- 方法 1

将开关 SW_1、SW_2 设置为计算机控制位置，使用来自计算机的脉冲信号与转向信号(参见图 6)。

- 方法 2

将开关 SW_1、SW_5 设定在计算机控制位置，将开关 SW_2 设定到手动操作位置。于是，转向信号与脉冲停止信号用来自计算机的信号，而脉冲信号则用来自脉冲发生电路的信号(参见图 7)。

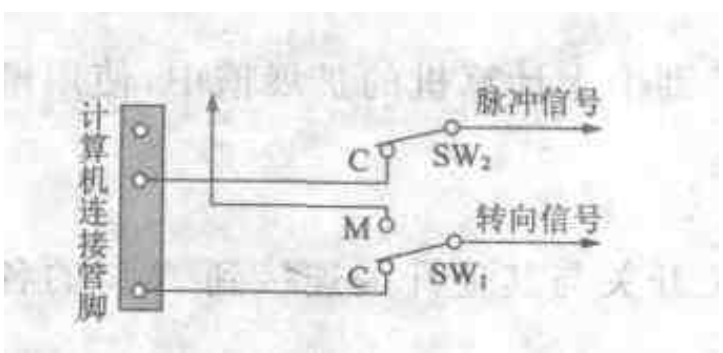


图 6　计算机控制的开关设置 1

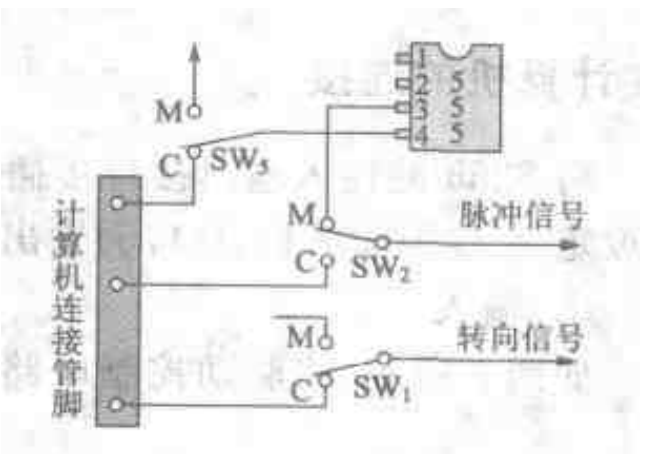
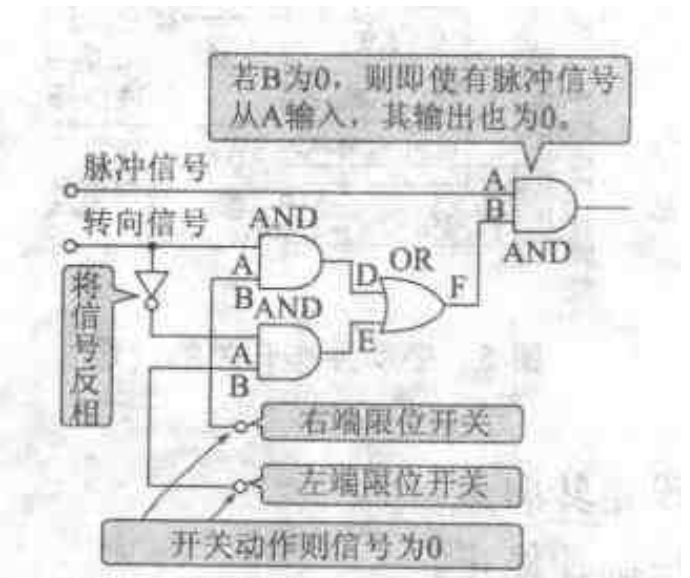


图 7　计算机控制的开关设置 2

④ 两端的界限处理

若移行两端的限位开关动作，步进电动机就停止移行，但离开限位开关的方向仍可继续移行。

其原理是用转向信号与限位开关信号进行逻辑与(AND)运算，其结果再与脉冲信号进行逻辑与(AND)运算(参见图 8)。



AND(与)电路真值表

输入		输出
A	B	
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

OR(或)电路真值表

输入		输出
D	E	F
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

图 8　移行两端界限处理原理

⑤ 开关电路

两个限位开关与两个按钮开关(启动与返回起始点)的信号，经过波形整形电路输入到计算机中。

计算机的连接

将 8255 的输入输出接口接插板连接到个人计算机的扩展槽中，使用模式 0，设定 A 口为输入口，B 口为输出口。

① 输入

如图 9 所示，将驱动控制电路的限位开关与其他开关连接到 A 口的各管脚上。

② 输出

如图 10 所示，将驱动电路的脉冲信号、移行(旋转)方向信号，产生脉冲的启动信号接到 B 口的各管脚上。

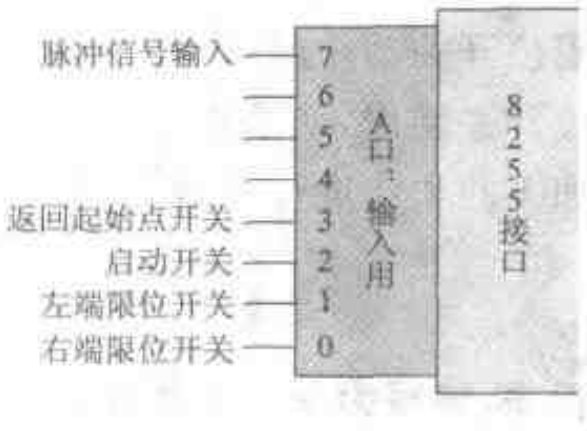


图 9 输入口的连接

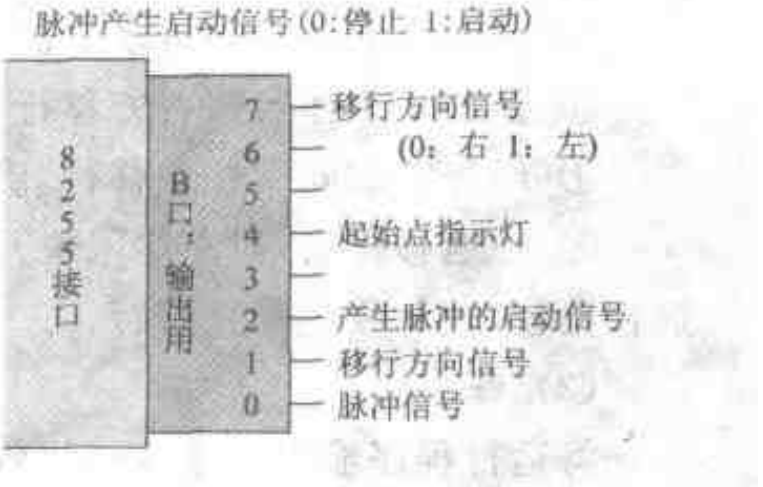


图 10 输出口的连接

定 义

将口地址号置换为口名称。

```
#define APORT 0xd0    A 口地址号
#define BPORT 0xd2    B 口地址号
#define CPORT 0xd4    C 口地址号
#define CWREG 0xd6    CW 寄存器地址号
#define RLS 0x1    右端限位开关数据
#define LLS 0x2    左端限位开关数据
#define RGT 0x0    移行方向向右
#define LFT 0x2    移行方向向左
#define PLSH 0x1    脉冲高电平信号
#define PLSL 0x0    脉冲低电平信号
#define MAXL 300    最大行程
```

控制-1〈往复〉

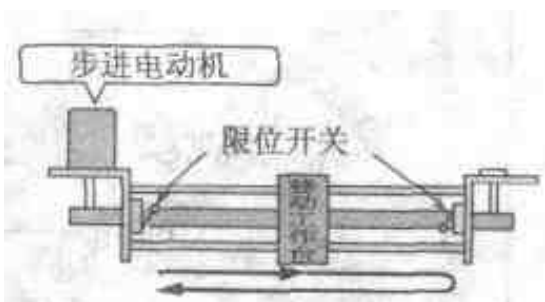


图 11 操作-1〈往复〉

(1) 动作

用来自脉冲发生电路的脉冲信号，以左端为起始点，以指定的次数使移动工作台在两端之间往复移行(参见图 11)。

① 将移动工作台设置在左端

让移动工作台往左运行，当确认左端限位开关动作时，就停止。

② 在屏幕上指定往返多少次。

③ 让移动工作台往右方移行，确认右端限位开关动作就停止。

④ 经一定时间后往左移行，确认左端限位开关动作，就停止。

⑤ 往返移行后，对左端限位开关每次增加 1 的动作进行计数，并与指定次数相比较，若一致就停止移行。

（2）程序

将运行程序输出→输入→比较→输出的程序，编写为一个函数程序。

函数syori（ ）程序

```
1 : syori(unsigned int od1,unsigned int hd)
2 : {
3 :     unsigned int ls;
4 :     outp(BPORT, od1);
5 :     do{
6 :         ls=inp(APORT)& hd;
7 :     }while (ls<=hd);
8 :     outp (BPORT,0x0);
9 : }
```

main 程序〈往复运行〉

```
#define APORT  0xd0      A口地址号
#define BPORT  0xd2      B口地址号
#define CPORT  0xd4      C口地址号
#define CWREG 0xd6       CW寄存器地址号
#define LLS    0x1       左端限位开关的输入数据
#define RLS    0x2       右端限位开关的输入数据
#define LIDO   0x6       向左移行输出数据
#define RIDO   0x4       向右移行输出数据
#define STP    0x0       停止输出数据
```

（通常标识名称都用大写字母）

标识名称的置换

```
syori(unsigned int hd,unsigned int odl)
{
        unsigned int ls;
        outp(BPORT,od 1);
        do{
                ls=inp(APORT)& hd;
        }while(ls<=hd);
        outp(BPORT,0x0);
}
main( )
{
        unsigned int nn,n;
        outp(CWREG,0x90);
        syori(LLS,SIDO);
        printf(¥x1B[2J);
        printf(" 往返多少次？ n=" );
        scanf("%d",&n);
        nn=0
        do{
                syori(RLS,RIDO);
                syori(LLS,LIDO);
                nn=nn+1;
        }while(nn!=n);
}
```

处理函数

输出移行的信号
①输出判断端部限位开关的信号
②在限位开关动作之前，反复进行输入判断
③若限位开关动作则停止输出信号

输入输出口的用法设置

将工作台设置在左端

清屏

用键盘输入

向右移行

向左移行

往返次数计数器



函数 syori()程序说明

形参如下：

odl：移行输出数据。

hd：限位开关输入数据。

4. 输出转向与脉冲发生的启动信号。

6. 将输入与限位开关的动作信号进行逻辑与(AND)运算，提取限位开关动作位的数据。

7. 在其数据与限位开关动作信号相等之前，反复执行上述 6. 的内容。

8. 输出停止数据。

控制-2(起始点设置)

编制将左端设置的起始点的函数程序[genten()]。脉冲由个人计算机输出。

(1) 动作

① 将移动工作台从左往右的设置

一边校验右端限位开关是否动作，一边输出向右方向移行的信号与一定数量的移行脉冲数。若右端限位开关动作，则停止移行。

② 向左移行

输出向左方向移行的脉冲，并向左移行。

若左端限位开关动作，则停止移行。

③ 起始点设置

在左端限位开关动作之前的位置，即发一个脉冲往右方向移行，左端限位开关也不会动作的位置，作为起始点(参见图 12)。

输出数据与①相同，加大脉冲间隔，缓慢移行。当输入数据达到上述①的话，就往相反方向。

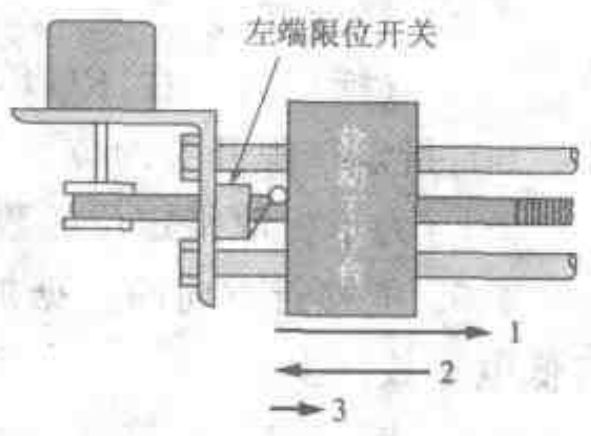


图 12　操作-2(起始点设置)

(2) 程序

编制输出脉冲，若限位开关动作，就停止的 PULS 函数程序。

函数〈puls(plsu,plhb,hoko,bit,limit)〉

```
1  puls(unsigned int plsu, unsigned int plhb, unsigned
   int hoko, unsigned int bit, unsigned int limit)
2  {
3      unsigned int t, h, ls, odt1, odt2;
4      odt1=hoko|PLSH;
5      odt2=hoko|PLSL;
6      for(t= =1;t<=plsu;t++)
7      {
8          outp(BPORT, odt1);
9          for(h= =1;h<=plhb;h++);
10         outp(BPORT, odt2);
11         ls=inp(APORT)&bit;
12         if(ls= =limit)
13         {
14             break;
15         }
16     }
17 }
```

程序说明－1

形参设置如下：

plsu：脉冲数（移行量换算的脉冲数）。

plhb：脉冲宽度（1 个脉冲高电平输出的时间）。

脉冲宽度越小，移行速度越快。

hoko：移行方向

（标识名　右：RGT，左：LET）。

bit：指定行程开关的位。

（为了提取指定位的数据）。

4、5. 把移行方向的数据加到（逻辑或（OR）运算）脉冲电压的高电平数据与低电平数据上。

6. 以指定的脉冲数，从 8～15 反复执行。

8. 输出脉冲电压的高电平状态。

9. 以脉冲宽度的数据，即保持时间，来保持高电平状态。

10. 输出脉冲电压的低电平状态。

11. 输入 A 口的数据，为了提取指定行程开关的数据，进行按位逻辑与（AND）运算。

12～15. 限位开关动作的话，跳出循环，结束函数程序。

〈起始点设置的函数程序〉

```
1  genten()
2  {
3      puls (100,50,RGT,RLS,RLS);
4      for (t= =1;t<=1000;t++);
5      puls (2000,50,LFT,LLS,LLS);
6      for (t= =1;t<=1000;t++);
7      puls (100,200,RGT,RLS,0x0);
8      outp (BPORT,0x10);
9      printf (¥x1B [2J);
10     printf ("《起始点设置结束》");
11 }
```

程序说明　2

1. 无形参。

3. 调用函数 puls()，从现在位置向右移行 100 个脉冲的距离，右端限位开关-动作，就结束函数程序，停止运行。

4. 一定时间后停止。

5. 调用 puls()，设置现在位置向左移行 2000 个脉冲的距离，左端限位开关-动作，就结束函数程序，停止运行。

6. 一定时间后停止。

7. 调用函数 puls()，设置从现在位置向左移行 100 个脉冲的距离，若左端的限位开关不动作，也结束函数程序，停止运行，以此位置作为起始点。

8. 起始点设置完毕，指示灯亮。

9. 清除屏幕。

11. 屏幕上显示：《起始点设置完毕》。

控制-3

以起始点(左端)为起点，按指定方向与距离移动。

(1) 动作

① 设置移动工作台的起始点。

② 在屏幕上输入移动方向与距离。

③ 当按下启动按钮，则移动到指定的位置(参见图 13)。

④ 反复执行②～③。

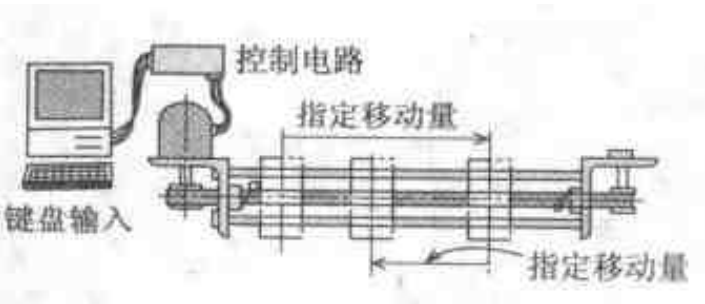


图 13　操作-3〈指定移动〉

(2) 程序

· 略去标识名称的定义与函数程序。

• 起始点设置，使用前述的已定义函数。genten()与函数 puls()。移动的执行使用函数 puls()。

• 从屏幕输入到移动执行，用 for(;;)语句无条件循环，执行完毕后，再执行屏幕上的问题，不再执行的场合，跳出循环圈，结束程序。

主要程序〈任意距离的移动〉

```
1  main()
2  {
3      outp(CWREG,0x90);          口使用方法的设置
4      genten();                  设置起始点
5      for(;;)
6      {
7          printf("¥x1B[2J");     清屏
8          printf(" 移动方向(向右+，向左-)与移动距离(mm)=" )
9          scanf("%d",&ido);      将键入的移动方向与距离的输入数据代入变量id
11         gokei+=ido;            累计移动距离
12         if(gokei<0 || gokei>MAXL)   判断移动范围
13         {
14             printf("<<超出移动范围，请再次修正>>")
15             continue;          返回for(;;)语句的开头
16         }
17         pls=ido/0.2;           将移动距离换成脉冲数
18         printf("<<是否可以?(Y/N)>>");
19         scanf("%s",&y);        了解移动的执行
20         if(y='n' || y='N')     将键入数据代入变量y
21         {
22             continue;          再执行时(输入N)返回for(;;)语句的开头
23         }
24         if(ido>=0)
25         {
26             puise(pls,50,RGT,RLS,RLS);   指定移动量为“＋”(省略＋)
27         }
28         else if(ido<=0)        进行右扫描处理
29         {
30             pulse(pls,50,LFT,LLS,LLS);   若指定移动量为“－”(省略－)
31         }
32         printf("<<是否继续?(Y/N)>>");     进行左扫描处理
33         scanf("%s",&cx);
34         if(x='n' || x='N')     判断是否要返回到程序开头，继续执行
35         {
36             break;             N的情况下
37         }
38     }
39 }                              跳出无条件循环for(;;)语句，结束程序
```

4 铁路模型的控制

用C语言来编制简单的铁路模型控制程序。

1 铁路模型

轨路配置如图 2 所示。

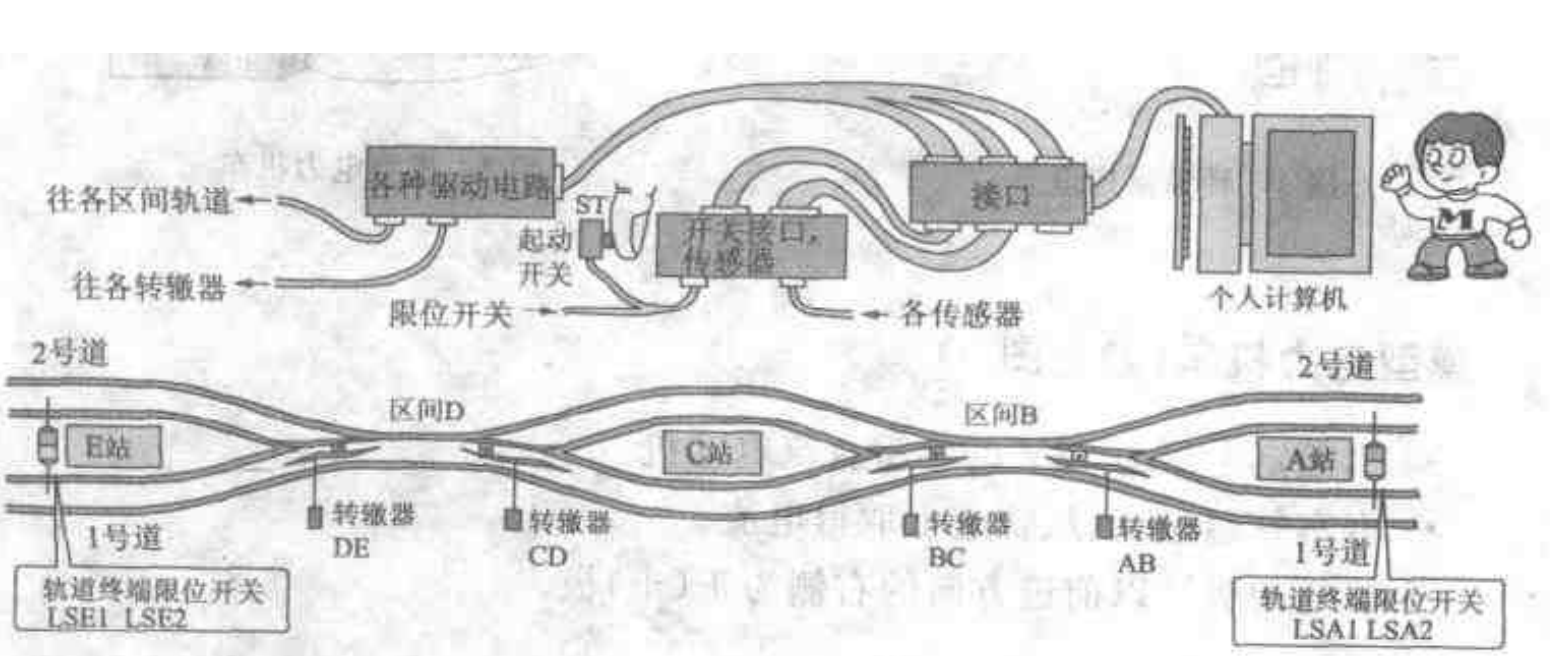


图 2 铁路模型构造图

轨 道

· 将 A 站、C 站、E 站与单轨区间 B、D 连接，各站均设置双轨。双轨与单轨用转辙器 AB、BC、CD、DE 连接。

· 轨道共分 A1、A2、B、C1、C2、D、E1、E2 八个区间，各自独立供电。转辙器 AB 与 BC 和区间 B，转辙器 CD 与 DE 和区间 D 的极性相同。

· 在 A 站与 E 站的轨道终端，装有防止通过的限位开关，并将信号输入计算机。

· 电力机车检测用传感器是以检测轨道上流过电流的方法，装在各区间的电源电路上。

转辙器

· 转辙器用于选择轨道，摆动转辙器的轨道，就可与运行轨道同路的轨道相连接(参见图 1)。

· 转辙器通过直流电动机与螺杆机构将旋转运动转化为直线运动。在转辙器的摆动终端，设置检测用的限位开关。

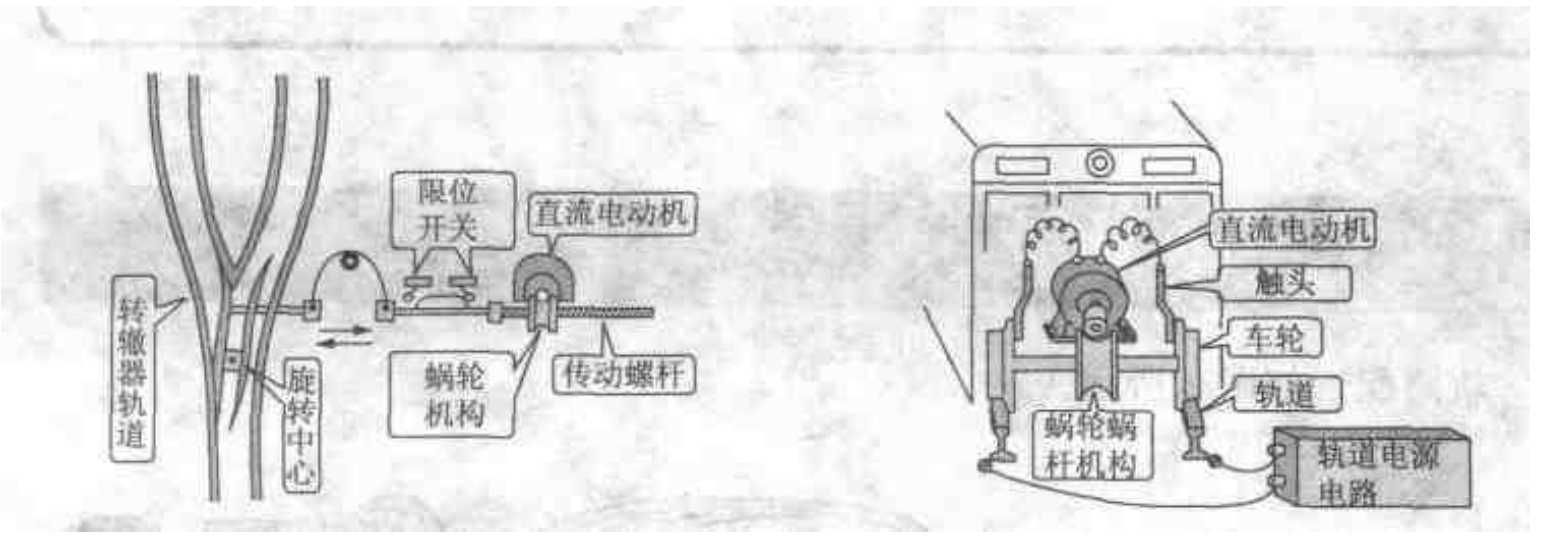


图 1　转辙器构造图　　图 3　模型电力机车

模型电力机车(参见图 3)

· 用额定电压为 12V 的小型直流电动机。
· 有车轮通过，则从轨道上取得电流。
· 轨道的极性以前进方向的右侧为正(+)极。

Ⅱ　主电路

轨道电源电路

轨道电源的供电，是通过两个作为“电源开关”与“极性变换”用的电磁继电器的接点连接到轨道上的。电磁继电器由来自计算机的信号并通过晶体管控制。各区间之间的供电线路连接如图 4 所示。

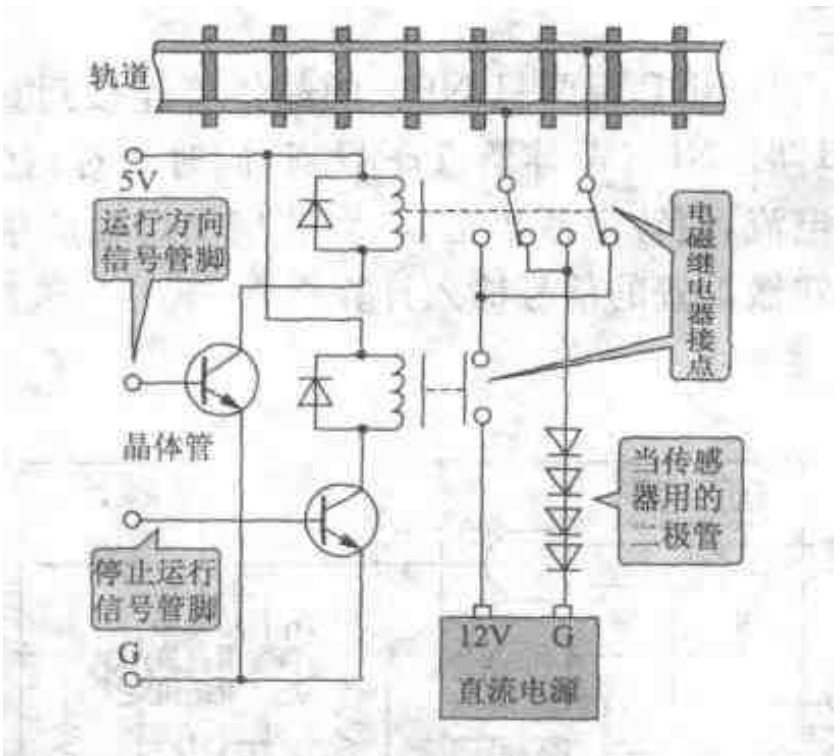


图 4　轨道电源电路

电力机车检测传感器

电力机车检测传感器是检测电力机车是否进入该区间轨道的传感器，电力机车在轨道上运行时，通过检测流经机车的电流来检测电力机车（参见图 5）。

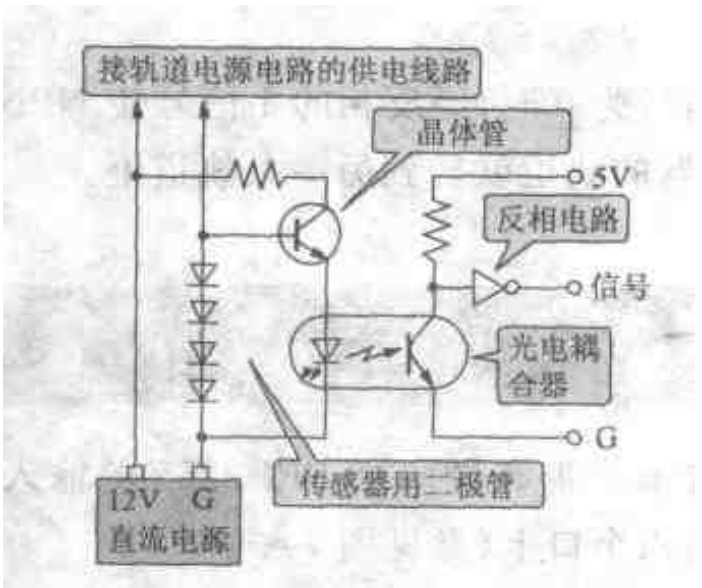


图 5　电力机车检测传感器

四个二极管串联连接在电源电路上。将流过电流产生的电位差，作为使晶体管、光电耦合器工作的信号，将这一信号输入计算机，作为检测电力机车的信号。

转辙器驱动电路

如图 6 所示，两只 PNP 与两只 NPN 的晶体管连接到直流电动机，当来自计算机的信号为“1”时，NPN 晶体管 Tr_4 导通，同时相对侧的 PNP 晶体管 Tr_1 导通，电动机流入电流，使转辙器轨道摆动，若摆动终端的限位开关动作，电动机就停止，将完成转辙设置的信号输入计算机。

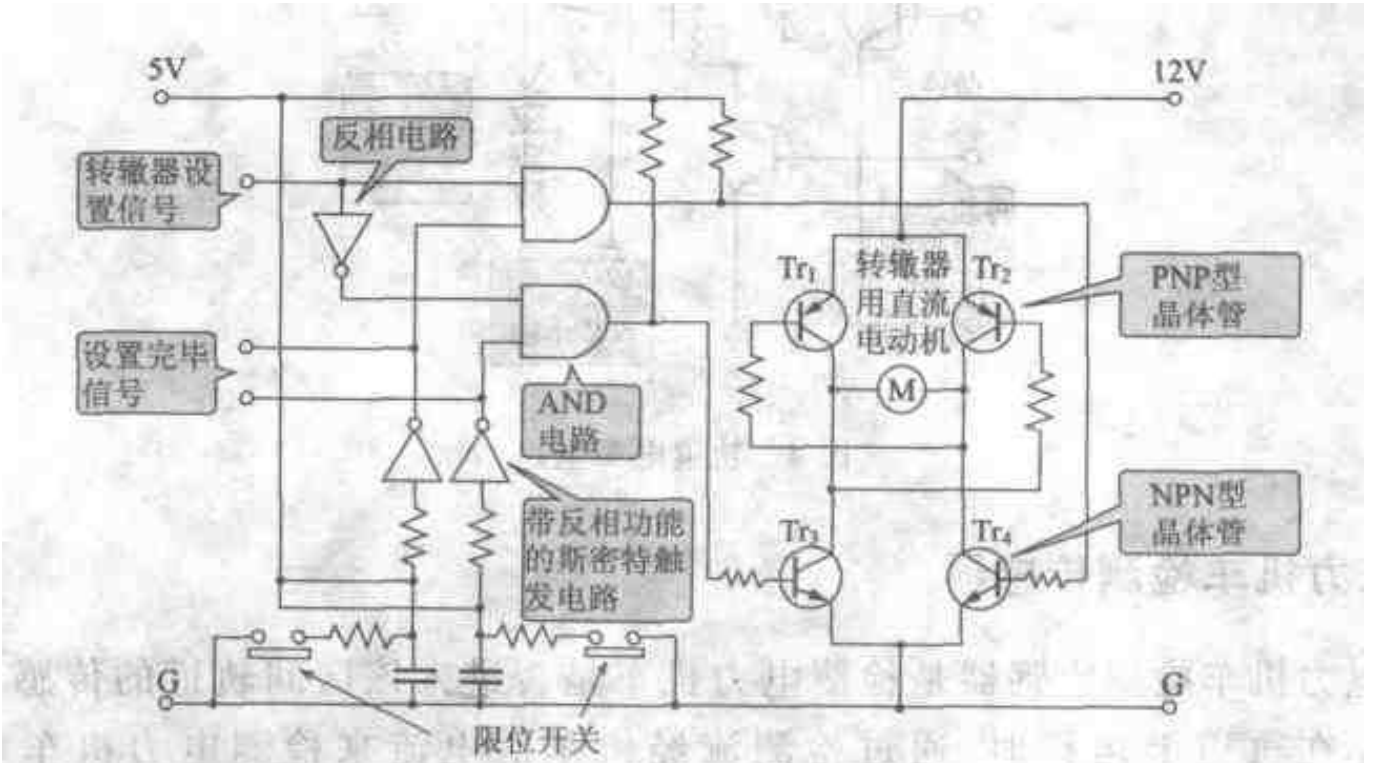


图 6　转辙器驱动电路

若来自计算机的信号为 0 时，经反相的 1 信号使 NPN 晶体管 Tr_3 到 PNP 晶体管 Tr_2 导通，转辙器的轨道就转到另一条轨道上。

Ⅲ　与个人计算机的连接

个人计算机的扩展槽上带有带两个 PPI 8255 的输入输出接口插接件，将各电路连接在插接件的六个口上(参见图 7)。

① 口的设定

使用模式为模式 0，将 8255－1 的三个口设定为输入口，8255－2 的三个口设定为输出口。

表示这一设置的 CW 数据如下，用程序将数据输出到各 8255 片的 CW 寄存器中。

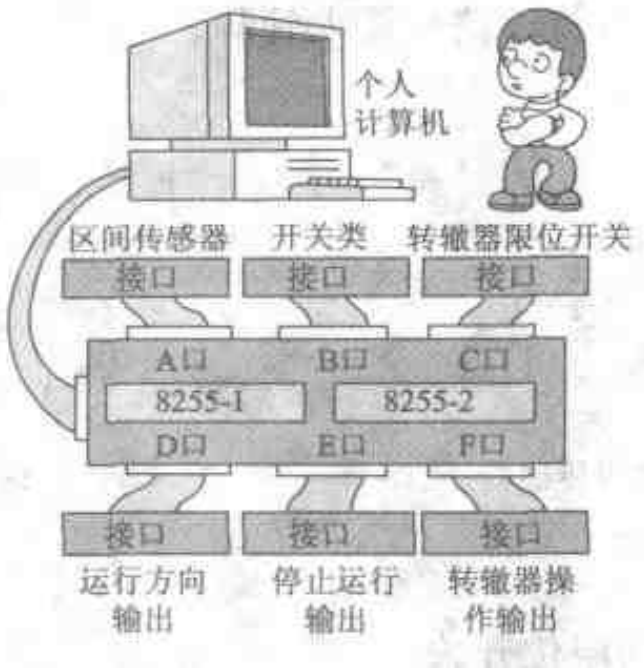


图 7 与个人计算机的连接

8255－1……全部口均用于输入。

$(1001\ 1011)_2=(9B)_{16}$

CW 寄存器地址号→$(D6)_{16}$

8255－2……全部口均用于输出。

$(1000\ 0000)_2=(80)_{16}$

CW 寄存器地址号→$(DE)_{16}$

② 口的地址号(地址)

8255－1 的 A、B、C 口，8255－2 的 C、D、F 口的地址设置如下。

A 口→$(D\ 0)_{16}$

B 口→$(D\ 2)_{16}$

C 口→$(D\ 4)_{16}$

D 口→$(D\ 8)_{16}$

E 口→$(D\ A)_{16}$

F 口→$(D\ C)_{16}$

③ 电力机车检测传感器输入

如图 8 所示，有 8 个区间，将这些电力机车的检测传感器连接到 A 口的 8 位上。

电力机车一进入区间的轨道，1 信号就被输入到输入口的管脚；没有电力机车时，0 信号被输入到输入口的管脚。

④ 开关输入

如图 9 所示，将启动开关 ST、停止开关 STP 与各轨道终端的限位开关(LSA1、LSA2、LSE1、LSE2)连接到 B 口的各位上。

若开关接通(ON)，就将 1 信号输入管脚。

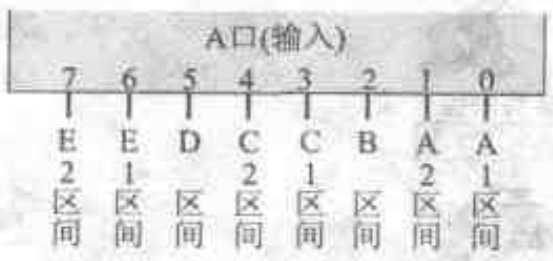


图 8　电力机车的检测传感器



图 9　各种开关

⑤ 转辙器设置用的限位开关

如图 10 所示，将转辙器驱动装置摆动两端限位开关的信号引脚，连接到 C 口上。

转辙器轨道驱动用的螺杆轴上，装有端部限位开关，用此开关动作的信号，作为确认转辙器完成设置动作的信号。

⑥ 电力机车运行方向输出

如图 11 所示，将各区间轨道电源电路的运行方向信号管脚接到 D 口上。

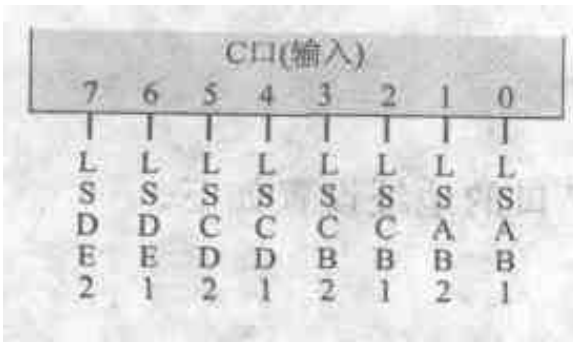


图 10　转辙器设置用的限位开关



图 11　运行方向输出

从 A 站往 E 站前进方向(往下)输出 0 信号，从 E 站往 A 站前进方向，输出 1 信号，以此来设置电磁继电器。

⑦ 电力机车停止运行输出

如图 12 所示，将各区间的电力机车电源电路停止运行信号管脚与 E 口连接。

电力机车运行输出 1 信号，停止运行输出 0 信号。

⑧ 转辙器的设置输出

如图 13 所示，转辙器的驱动电路设置信号管脚连接到 F 口上。

设置往 1 号轨道，输出 0 信号；往 2 号轨道，输出 1 信号。



图 12　停止运行输出



图 13　转辙器的设置输出

Ⅳ 控制程序

用 C 语言，编制简单电力机车运行控制的程序。

程序-1(单轨运行)

■动作

一按 ST(启动)开关，就依 A 站 1 号轨道→C 站 2 号轨道→E 站 1 号轨道的路线运行(参见图 14)。

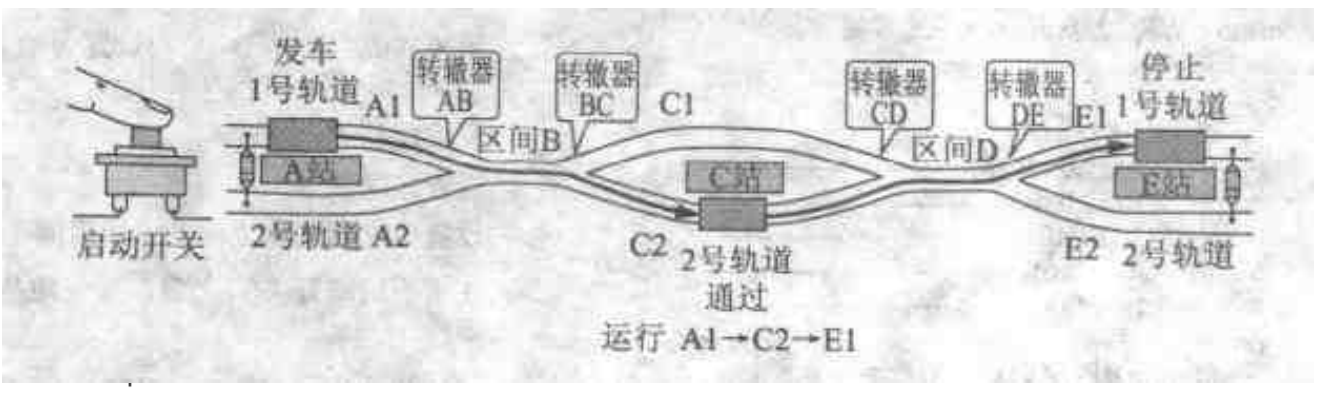


图 14　操作-1(单轨运行)

① 转辙器设置

将转辙器 AB 与 DE 连接在 1 号轨道，将转辙器 BC 与 CD 连接在 2 号轨道(F 口的第 0 位与第 3 位输出 0 信号，第 1 位与第 2 位输出 1 信号)。

输出数据(F 口)：$(0000\ 0110)_2=(6)_{16}$

将转辙器设置在规定位置，并用 C 口的限位开关输入信号来确认(确认在第 0、3、5、6 位输入了 1 信号)。

输入数据(C 口)：$(0100\ 1001)_2=(69)_{16}$

② 运行方向设置

设置轨道区间 A1、B、C2、D、E1 的 A→E 运行方向(在 D 各位上输出 0 信号)。

输出数据(D 口):$(0000\ 0000)_2=(0)_{16}$

③ 开始

按下 ST(启动)开关,电力机车从 A 站的 1 号轨道出发,从 A→E 方向运行(B 口的第 0 位输入 1 信号,则 E 口的第 0、2、4、5、6 位就输出 1 信号)。

输入数据(B 口):$(0000\ 0001)_2=(1)_{16}$

输出数据(E 口):$(0111\ 0101)_2=(75)_{16}$

④ 停止

当确认电力机车进入了 E 站的 1 号轨道后,就让车停在站的中间(在 A 口第 6 位输入 1 信号,则 E 口的所有位均输出 0 信号)。

输入数据(A 口):$(0100\ 0000)_2=(40)_{16}$

输出数据(E 口):$(0000\ 0000)_2=(0)_{16}$

■ 从 A 站到 E 站的单轨运行程序

```
#define APORT  0xd0 · · · A口
#define BPORT  0xd2 · · · B口
#define CPORT  0xd4 · · · C口
#define DPORT  0xd8 · · · D口
#define EPORT  0xdA · · · E口
#define FPORT  0xdC · · · F口
#define CWRG1 0xd6 · · · CW寄存器1
#define CWRG2 0xdE · · · CW寄存器2
main()
{
    unsigned int t,st,ds;
    outp(CWRG1,0x9b);
    outp(CWRG2,0x80);
    outp(DPORT,0x0);
    outp(FPORT,0x6);
    for(t=0;t=>2000;t++);
    do{
        st=inp(BPORT)& 0x1;
    }while(st!=0x1);
    outp(EPORT,0x75);
    do{
        ds=inp(APORT)&0x40;
    }while(ds!=0x40);
    for(t=0;t=>3000;t++);
    outp(EPORT,0x0);
}
```

定义标识名称

用模式0，将A、B、C口设置为输入口，将D、E、F口设置为输出口

设置运行方向

设置转辙器

设置转辙器到位之前的一段时间

在按下启动开关ST之前，反复地从B口输入

A站1号轨道→B区间→C站2号轨道→D区间→E站1号轨道的运行

在E站1号轨道的检测传感器，检测到电力机车之前，反复地从A口输入

电力机车到达中间之前运行一段时间

使电力机车停止

程序-2(两台电力机车的交会)

编制如下的两台电力机车的控制程序(参见图 15)。

■ 动作

按下启动开关 ST,电力机车Ⅰ从 A 站的 1 号轨道发车,进入 C 站的 2 号轨道就停止。改变转辙器与运行方向的设置,电力机车Ⅱ从 E 站的 2 号轨道发车,通过 C 站的 1 号轨道,到 A 站的 2 号轨道停止。

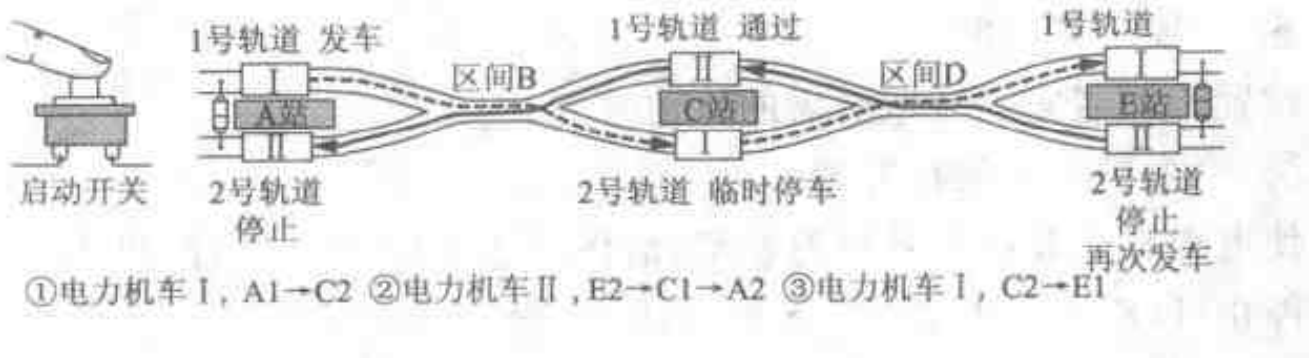


图 15 操作-2(更换输入程序)

再改变转辙器与运行方向的设置，使Ⅰ号电力机车向E站发车。当Ⅰ号电力机车驶进E站后停止。

① 转辙器设置

将转辙器AB、CD设置在1号轨道，将转辙器BC、DE设置在2号轨道(F口的第0位、第2位输出0信号，第1位第3位输出1信号)。

输出数据(F口)：$(0000\ 1010)_2=(A)_{16}$

② 运行方向设置

将区间A1、B、C2设置为向下运行，将区间C1、D、E2设置为向上运行(D口的第3位、第5位、第7位输出1信号)。

输出数据(D口)：$(1010\ 1000)_2=(A8)_{16}$

③ 电力机车Ⅰ运行开始

按下启动开关ST，则电力机车Ⅰ从区间A1→B→C2运行(B口的第0位输入1信号，则E口的第4位、第2位、第0位就输出1信号)。

输入数据(B口)：$(0000\ 0001)_2=(1)_{16}$

输出数据(E口)：$(0001\ 0101)_2=(15)_{16}$

④ 电力机车Ⅰ的C站停车

若检测到电力机车Ⅰ进入C站的2号轨道后，就使电力机车在站中间附近停车(A口的第4位若输入0信号，则E口的全部位均输出0信号)。

输入数据(A口)：$(0001\ 0000)_2=(10)_{16}$

输出数据(E口)：$(0000\ 0000)_2=(0)_{16}$

⑤ 运行方向、转辙器的再次设置

设置区间A2、B、C1、D、E2为向上运行(D口的第1、2、4、5、7位输出1信号)。

输出数据(D口)：$(1011\ 0110)_2=(B6)_{16}$

将转辙器AB、DE设置在2号轨道，将转辙器BC、CD设置在1号轨道(F口的第0位，第3位输出1信号，第2位、第1位输出0信号)。

输出数据(F口)：$(0000\ 1001)=(9)_{16}$

⑥ 一段停留时间

设置转辙器完成转辙所需的停留时间。

⑦ 电力机车Ⅱ运行开始

使电力机车Ⅱ从 2 号轨道发车，沿区间 D→C1→B 运行，进入 A 站 2 号轨道后停止(D 口的第 1、2、3、5、7 位输出 1 信号)。

输出数据(D 口)：$(1010\ 1110)_2=(AE)_{16}$

⑧ 电力机车Ⅱ A 站停车

若检测到电力机车Ⅱ进入了 A 站的 2 号轨道，就在站中间附近停止(若确认 A 口的第 1 位输入了 1 信号)，则一段时间后，全部 D 口的位均输出 0 信号)。

输入数据(A 口)：$(0000\ 0010)_2=(2)_{16}$

输出数据(D 口)：$(0000\ 0000)_2=(0)_{16}$

⑨ 运行方向转辙器的设置

设置沿区间 C2、D、E1 向下运行，沿区间 A2、B、C1 向上运行(D 口的第 1、2、3 位输出 1 信号)。

输出数据(D 口)：$(0000\ 1110)_2=(E)_{16}$

将转辙器 AB、CD 设置在 2 号轨道，将转辙器 BC、DE 设置在 1 号轨道(F 口的第 0 位、第 2 位输出 1 信号，其他各位输出 0 信号)。

输出数据(F 口)：$(0000\ 0101)_2=(5)_{16}$

⑩ 一段时间的停止

用一段时间让转辙器完全设置完毕。

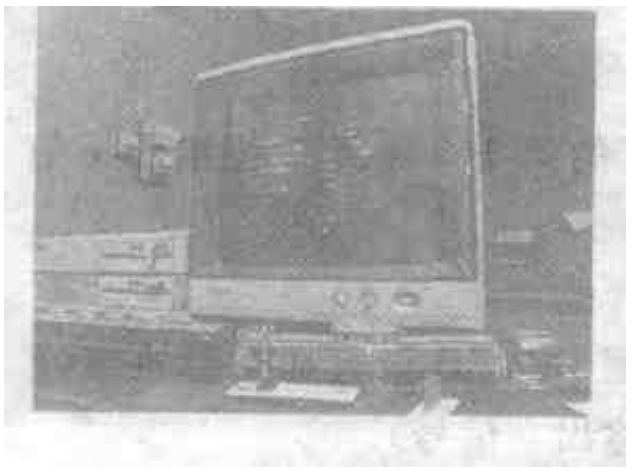
⑪ 再次发车

将电力机车Ⅰ沿区间 C2→D→E1(D 口的第 4、5、6 位输出 1 信号)。

输出数据(D 口)：$(0111\ 0000)_2=(70)_{16}$

⑫ E 站停止

若确定电力机车Ⅰ进入了 E 站 1 号轨道，就在站中间附近停止(A 口的第 6 位输入 1 信号的话，一段时间后，D 口所有的位输出 0 信号)。



输入数据(A 口)：$(0100\ 0000)_2=(40)_{16}$

输出数据(D 口)：$(0000\ 0000)_2=(0)_{16}$

⑬ 再次执行

在屏幕上问是否再次执行，并作出决定。

右图是电力机车模型与控制计算机的照片。

⑭ 程序。

编制判断运行方向，转辙器设置的函数与输出函数等程序。

■ 两台电力机车的交会　　更换程序中省略了标识名称的定义

```
1  settei(unsigned int hokodt,unsigned int pontdt)
2  {
3      outp(DPORT,hokodt);
4      outp(FPORT,pontdt);
5      for(t=0;t=>2000;t++);
6  }
7  syori(unsigned int inpt,unsigned int otpt,unsigned int indt,unsigned int otdt,int unsigned time)
8  {
9      unsigned int ds,t;
10     do{
11         ds=inp(inpt)& indt,
12     }while(ds!=indt);
13     for(t=0;t->time;t++),
14     outp(otpt,otdt);
15 }
16 main()
17 {
18     unsigned int t,a;
19     outp(CWRG1,0x9b);
20     outp(CWRG2,0x80);
21     do{
22         settei(0xa8,0xa)
23         syori(BPORT,EPORT,0x1,0x15,0);
24         syori(APORT,EPORT,0x10,0x0,5000),
25         settei(0xae,0x9)
26         outp(EPORT,0xae);
27         syori(APORT,EPORT,0x1,0x0,3000);
28         settei(0xa8,0xa)
29         outp(EPORT,0x70);
30         syori(APORT,EPORT,0x40,0x0,5000);
31         printf("¥x1B[2J");
32         printf("结束吗？(是/否)"),
33         a=getchar();
34     }while(a!='y');
35 }
```

函数settei程序
<转辙器与运行方向的设置>



函数syori程序
<根据设置输入进行输出处理>

设置A、B、C各口为输入口

设置D、E、F各口为输出口

运行方向与转辙器的设置

执行syori()函数，若按下启动开关ST，则电力机车向下运行

执行syori()函数，若电力机车Ⅰ驶入了C站的2号轨道的话，就停止

设置运行方向与转辙器

使电力机车Ⅱ沿E2→D→C1→B→A2区间运行

若电力机车Ⅱ进入了A站的2号轨道的话，就停止

设置运行方向与转辙器

使电力机车Ⅰ沿C2→D→E1区间运行

若电力机车Ⅰ进入了E站的1号轨道的话，就停止

5 中断控制的设计

中断的定义是在程序执行过程中、要执行临时插入的一项工作的程序。例如，当检测到机械的动作异常时，就执行紧急停止等在控制中常用的程序。计算机中有两种中断方法，使用中断请求端子的硬件方法与在程序中编制的软件方法。

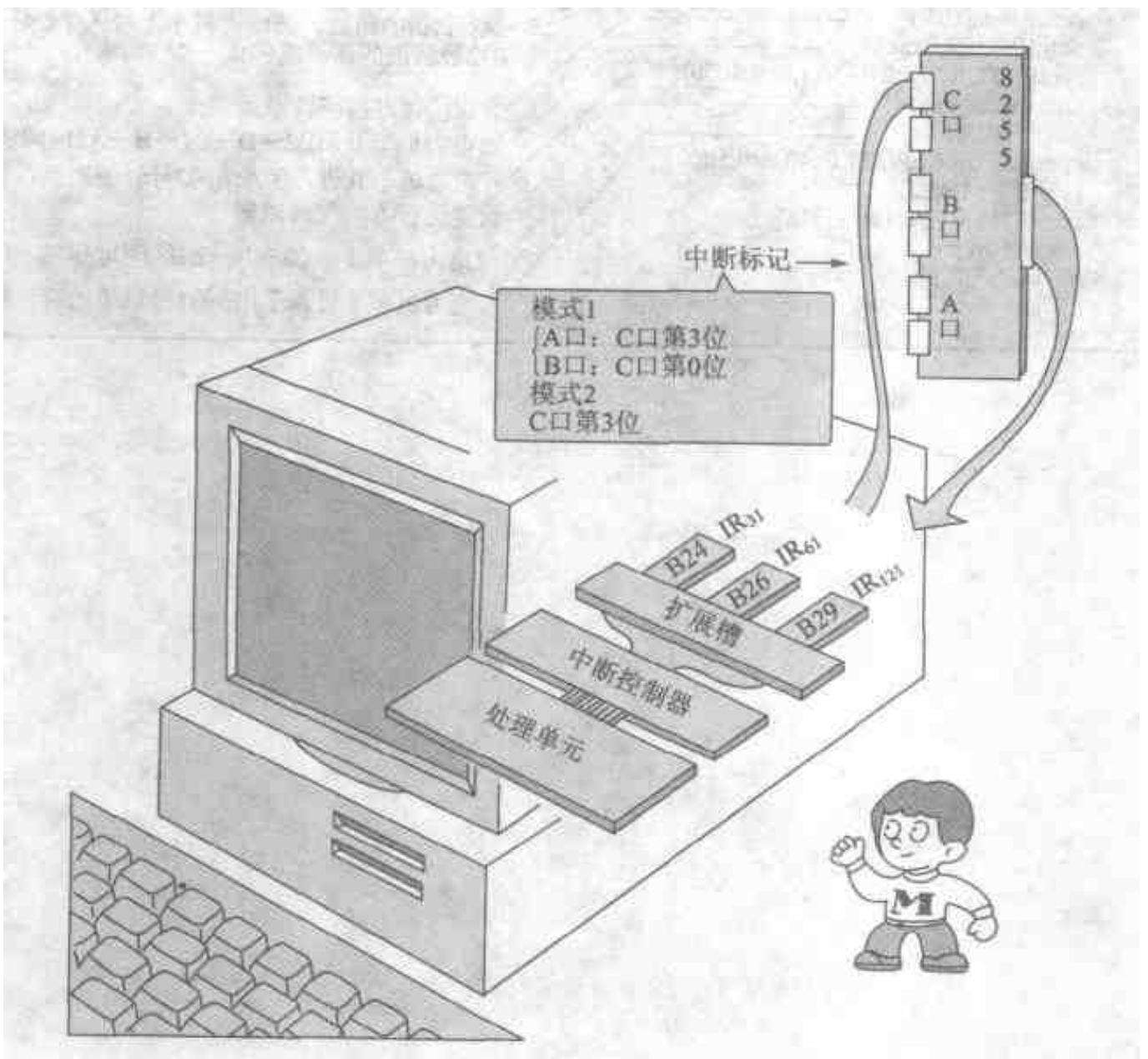


图 1　8255 与中断

Ⅰ 硬件的方法

PC9801 的扩展槽中，有 7 个管脚可用于中断输入，其中可无条件供用户使用的有 3 个，要与有关管脚连接使用。如显示应答中断请求的中断响应信号管脚，与中断有关的各种接口的管脚等。在个人计算机的内部，扩展槽的中断请求信号，是通过中断控制器的处理单元的中断请求信号管脚输入的。

用 8255 接口来设置中断请求输出管脚，有模式 1 与模式 2 两种中断模式。

若处理单元让中断请求信号管脚一有输入，就立即执行事先设置的中断处理程序，其处理速度要比软件处理的中断方法快，在控制中用得较多。

Ⅱ 软件方法

在控制程序中设置经常地检测相当于中断请求信号（例如紧急停止信号等）的程序，检测到这种输入信号就执行中断处理程序。

〈例〉步进电动机驱动程序中紧急停止（参见 7.7 节）。在前面步进电动机驱动程序中，编一段加入检测、处理紧急停止信号的程序。在发生脉冲的函数程序中加入信号的检测程序。假定在 A 口的第 7 位中设置紧急停止信号。

① 脉冲发生函数 pulse(n, h)的修改

```
34  pulse (n,h)
35   {
36      unsigned int i,t,od,d,wari;
37      for (i=1;i<=n;i++)
38      {
39        for (d=0x0;d<=0x1;d++)
40        {
41          od=ho+d;
42          outp(0xd2,od);
43          wari=inp (0xd0)&0x80;
44          if (wari==0x80)
45              {
46                  outp(0xd2,0x0);
47                  goto break;
48              {
49        }
50      }
51  break;;
52  }
```



② 程序说明

39～49. 将输出数据代入变量 od 中，与相应的旋转方向数据 0x0 或 0x1 交替输出。

43～48. 中断判断与处理。

43. A 口的数据输入变量 wari 中，用 0x80 进行按位逻辑与(AND)运算，输出第 7 位的数据。

44. 判断变量 wari 的数据。

46. 是 0x80 的话，B 口输出 0x0。

47. 用第 51 行的标记 Break 跳出循环，脉冲发生函数程序结束。

③ 脉冲的周期

中断判断与处理程序的处理时间，对脉冲周期有影响，因为由程序来计算周期有困难，所以要在执行程序的过程中，用示波器来观察波形的周期。

周期的长短，可在第 42 行的输出命令后面加入 for 语句，用循环次数来调整。

练习题

1. 中断是什么意思？
2. 中断的方法有几种？
3. 用处理单元的中断请求管脚输入中断的方法，有何优点？
4. 用 8255 输入输出接口中断的场合，可用几种模式？

解答

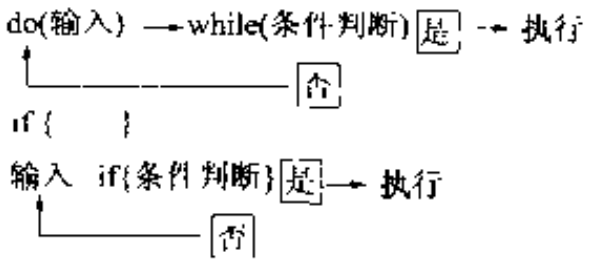
1. 在通常的程序执行过程中，一加入某个信号，就中止所执行的程序，而执行中断程序，这就叫中断。
2. 有硬件方法与软件方法。
3. 用硬件方法的处理速度快，当中断请求信号的种类多的情况下，使用方便。
4. 可用模式 1 与模式 2 两种

挑战题

这一章出的是控制程序的问题。

① 第一节的"用气动执行机构传送装置"的控制程序中，若将 do while 语句之处改写为 IF 语句，如何实现？

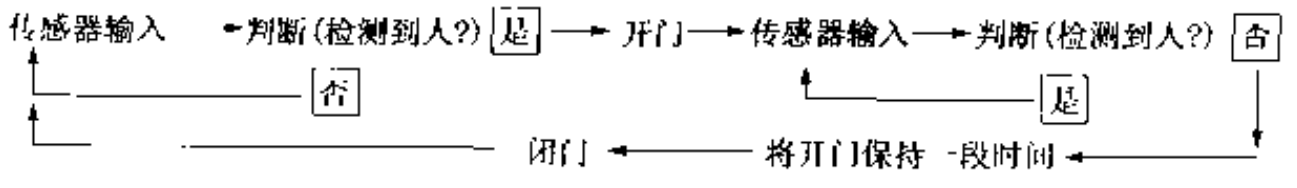
（提示）do-while





② 第 2 节"自动门控制"中，先编制一个不考虑模型的自动门安全性的简单操作控制程序。然后再考虑安全性，方便性等进行修正，试编制自己的控制程序

（提示） 简单控制



门的开、闭动作(电动机驱动门机构，开、闭门限位开关接通(ON，电动机停止)

③ 在第 3 节"步进电动机传送装置"中，设计一个用于移行时的移动量存储程序。另外设计一个要存储多个移动量，能将其操作再现的程序。

（提示）

1） 用脉冲发生电路的脉冲信号来驱动步进电动机，同时将该脉冲信号输入计算机。

2） 累计此脉冲数，存到配置的变量中。

3） 操作再现，将所存储的脉冲数从计算机输出到步进电动机驱动电路使其移行。

④ 第 4 行"铁路模型的控制"中，设计一个一台电力机车在 A、E 站之间往返的程序。或有两台电力机车分别在 A 站与 E 站同时发车，在 D 站停止，经过转辙器交会后，各自向对方车站出发的程序。

（提示）

1） 有必要考虑转辙器的设置。

2） 两台电力机车同时进入各站是没有限制的，因此有必要特别注意进站的判断，电力机车停止的延续时间。

A 答 案

①～④的答案略（请详细阅读有关章节）。

第9章

相扑机器人的制作技巧



本章的目的

本章叙述"相扑机器人的制作技巧"。

尽管胜负被说成是运气，但肯定是胜方得意。通过辛勤劳动与智慧制作出来的相扑机器人，犹如"自己的分身在比赛"。

按下启动按钮，在等待5秒钟的时间内，尽管至今为止经过了无数次的反复检查，我总是提心吊胆，稍微夸张地说，心情简直像花数百亿日元发射人造卫星到了倒计时时的那样紧张。

"干吧!加油!"，从那些不是裁判的裁判员发出的叫喊声开始，就开始了胜负的角逐，也传来了无情的"胜利了!"的声音。

"相扑机器人"的趣味，就是"自制"所带来的乐趣。

别人可能把相扑机器人看成是"会动的快餐盒"，然而它在我眼中却是珍贵无比的珠宝盒。

别的学校的同事们所制作的相扑机器人，不也作为实践演习吗?不知不觉地想到，也许你的孩子们讲到过"从前做过相扑机器人呀"等话，我们就应迎接挑战，来精心制作机器人。

1 相扑机器人的定义



I 相扑机器人的诞生

相扑机器人这个术语，在日本关心机电一体化和计算机的人们中间，已深人人心了。所以，如普通人所知道的："啊，电视播放过有个赛场上，装在小车上的快餐盒似的机器人来回挤撞，可真是场面火爆的比赛呀！"

这次相扑机器人比赛，是1990年富士软件株式会社作为纪念公司创立一周年的项目来策划的。同年3月，就实施了第一届的比赛大会。这次大会对年轻的工程师、学习机电一体化的人或喜欢动手制作的人来说，是一边学习技术，一边展示所制作的作品（相扑机器人）的极好场所。其后，曾多次举行大会，使机器人相扑日益流行。

• 大学生机器人相扑比赛大会的举办

1993年在富山县，1994年在京都府，都举办了大学生机器人相扑比赛的全国（决赛）大会。

对于大学生来说，制作"相扑机器人"是一 边用自己的手，通过辛勤劳动学习先进技术，一边又参加了全国大学中的教材比赛。这些与夏天机器人足球比赛一样火爆，涌现了大学生埋头在焊锡烟气中制作相扑机器人的新热潮。

Ⅱ　相扑机器人的种类

本书中，将机器人相扑的相扑运动员本体称为“相扑机器人”。

相扑机器人分为智能型与遥控型两类，各自均有一款，取名为“干吧”。

智能型

相扑机器人的本身装有控制机器人动作用的计算机。

同时还用计算机汇总来自各种各样传感器的信息，来控制机器人的动作，与对方机器人战斗。

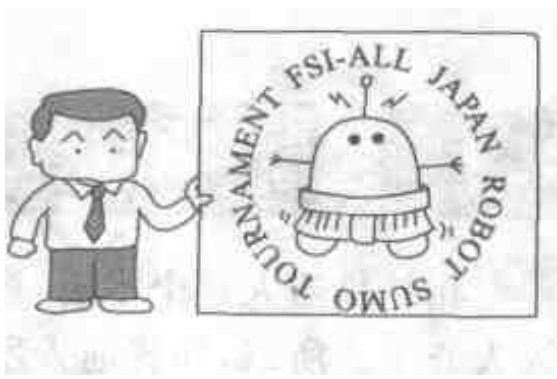
自身可以控制的相扑机器人，称为智能型相扑机器人。

所用计算机一般都用单片微机。

另外我想，使用身边现成的笔记本式计算机，以 C 语言控制的“用笔记本式计算机 C 语言的相扑机器人作品”，也是很有趣的挑战。

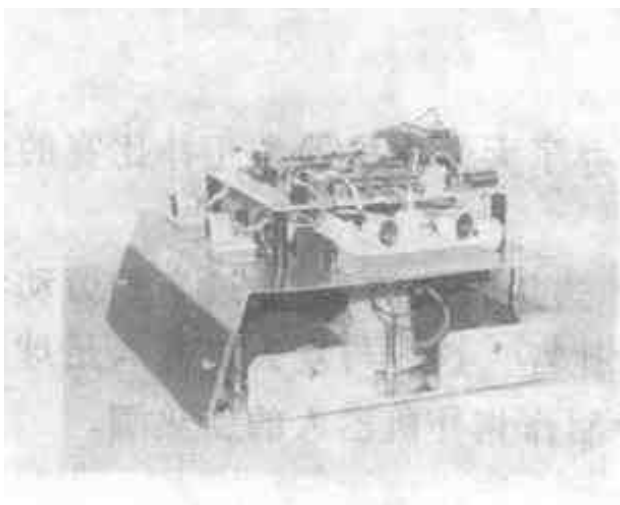
无线遥控型

通过无线控制操作（发射机），来控制机器人动作的相扑机器人，称为遥控型相扑机器人，它需要遥控操作的高技术。

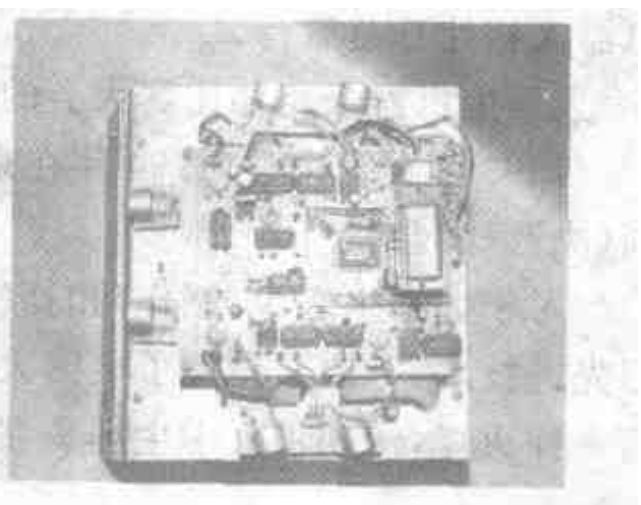


Ⅲ　相扑机器人的照片

这些照片都是在赛场中参加过比赛的一些相扑机器人。



四轴驱动式（智能型）



智能型 CPU 与传感器



用乒乓球拍橡胶自制的轮子(智能型)



两轴驱动式(智能型)

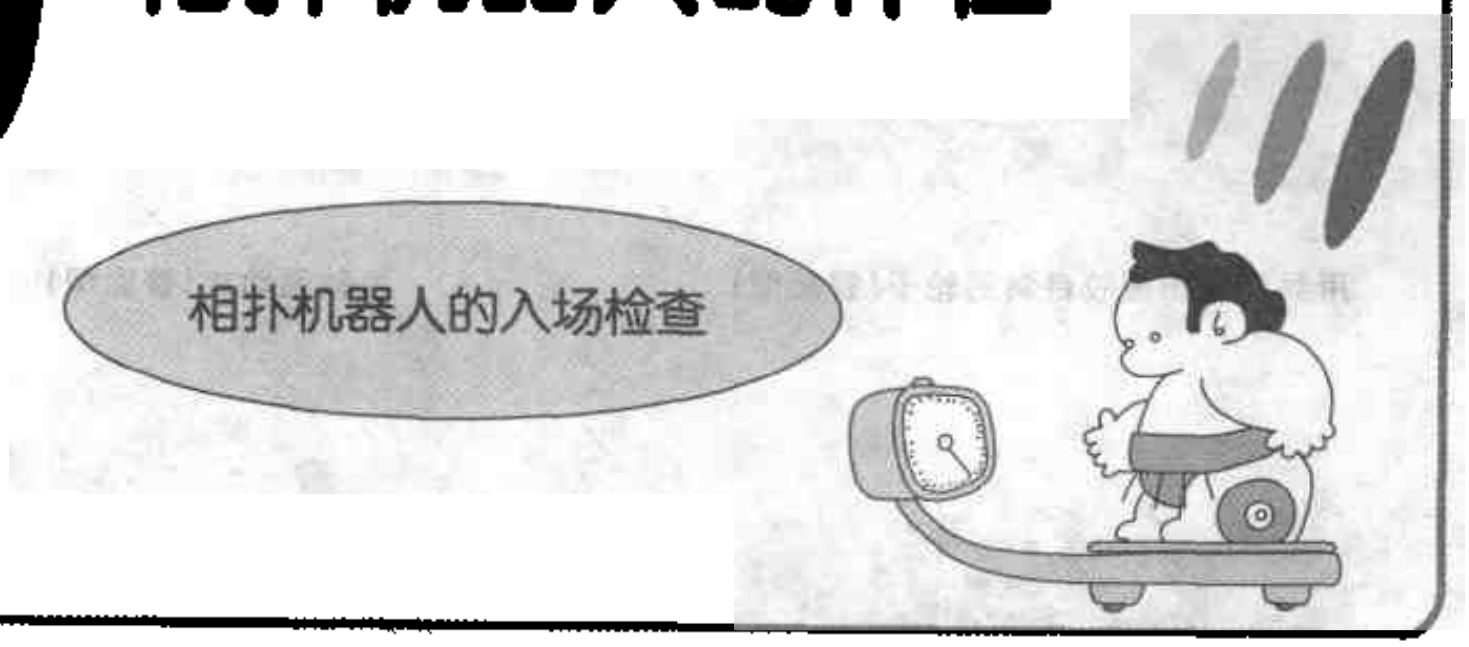


遥控型



带武器的遥控型

2 相扑机器人的体检



I 相扑机器人的体检(标准)

相扑运动员入场时要进行体格检查。因为相扑机器人要在同等条件下竞争智慧与技巧,所以要有图1、图2所示的“大小与重量的限制”(参见表1、表2)。

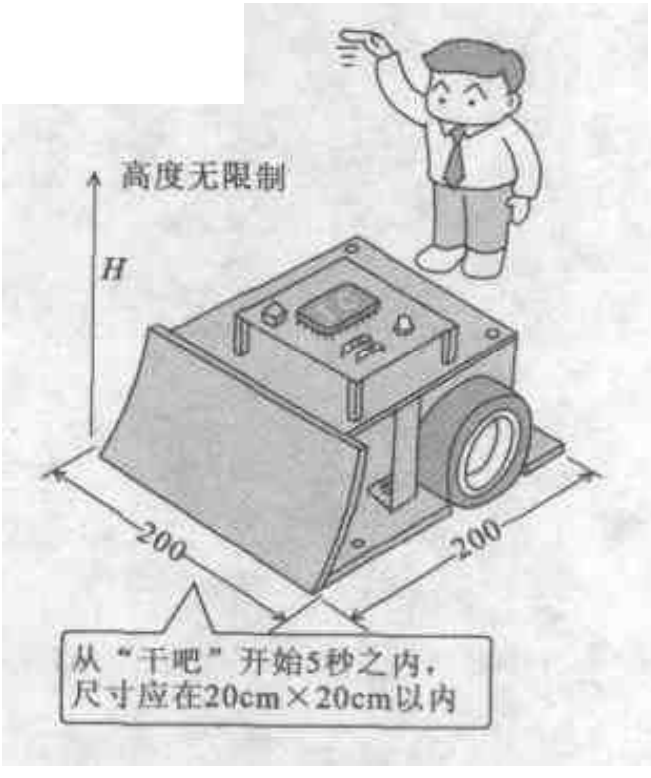


图1 相扑机器人的大小

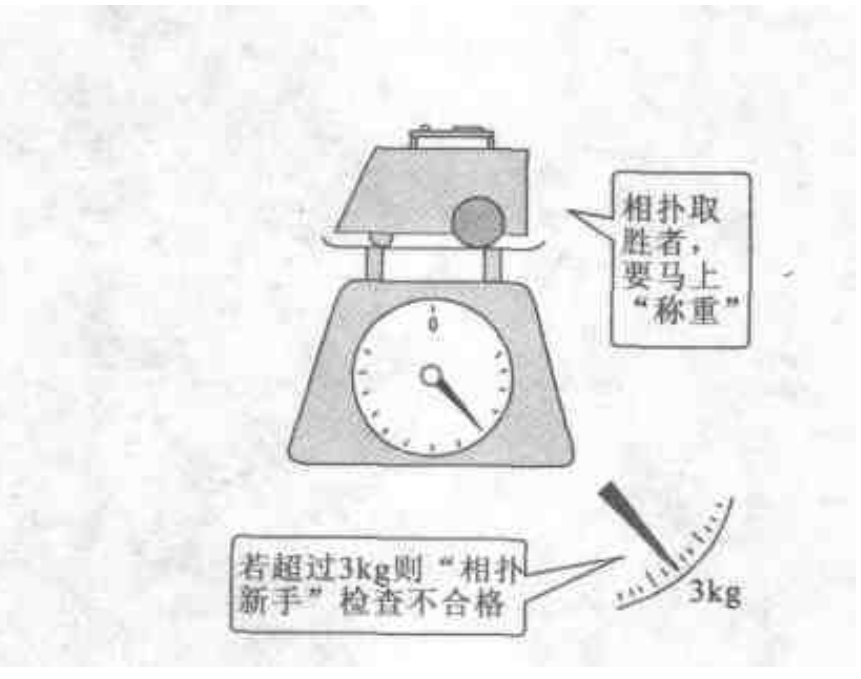


图2 相扑机器人的重量

表 1 相扑机器人的大小

根据标准大小	宽	20cm 以下
	深	20cm 以下
	高	无限制

但是，比赛开始后的相扑机器人的手腕或脚等本体部分与附属部分是允许伸缩的。如表 2 所示，智能型相扑机器人的本体，电动机的驱动电源，接插件、电缆、操作开关等附属物，所含的重量应当在 3000g 以内才算合格，超过则失去参赛资格。

表 2 相扑机器人的重量

重量	3000g(3kg)以内(包括附件)

要将对方的机器人推出去的力量，取决于电动机力矩的大小，此电动机的重量，要占到相扑机器人本身重量的 20%～30%。

因此推力的大小，受电动机重量的影响也很大。选多大的电动机，并且要兼顾该电动机驱动用 IC 能否买到等等，是要用点心思的。

另外，遥控型的场合，遥控器的重量是不包括在相扑机器人之内的。

Ⅱ 主要的决胜规则(参见图 3)

(一次比赛有三场，先胜两场者取胜。)

一场取胜

判定取胜

根据在赛场上动作之外的因素，来判断胜负。

其 他

根据对方违反相扑机器人的规定，决定胜负或抽签决定胜负。

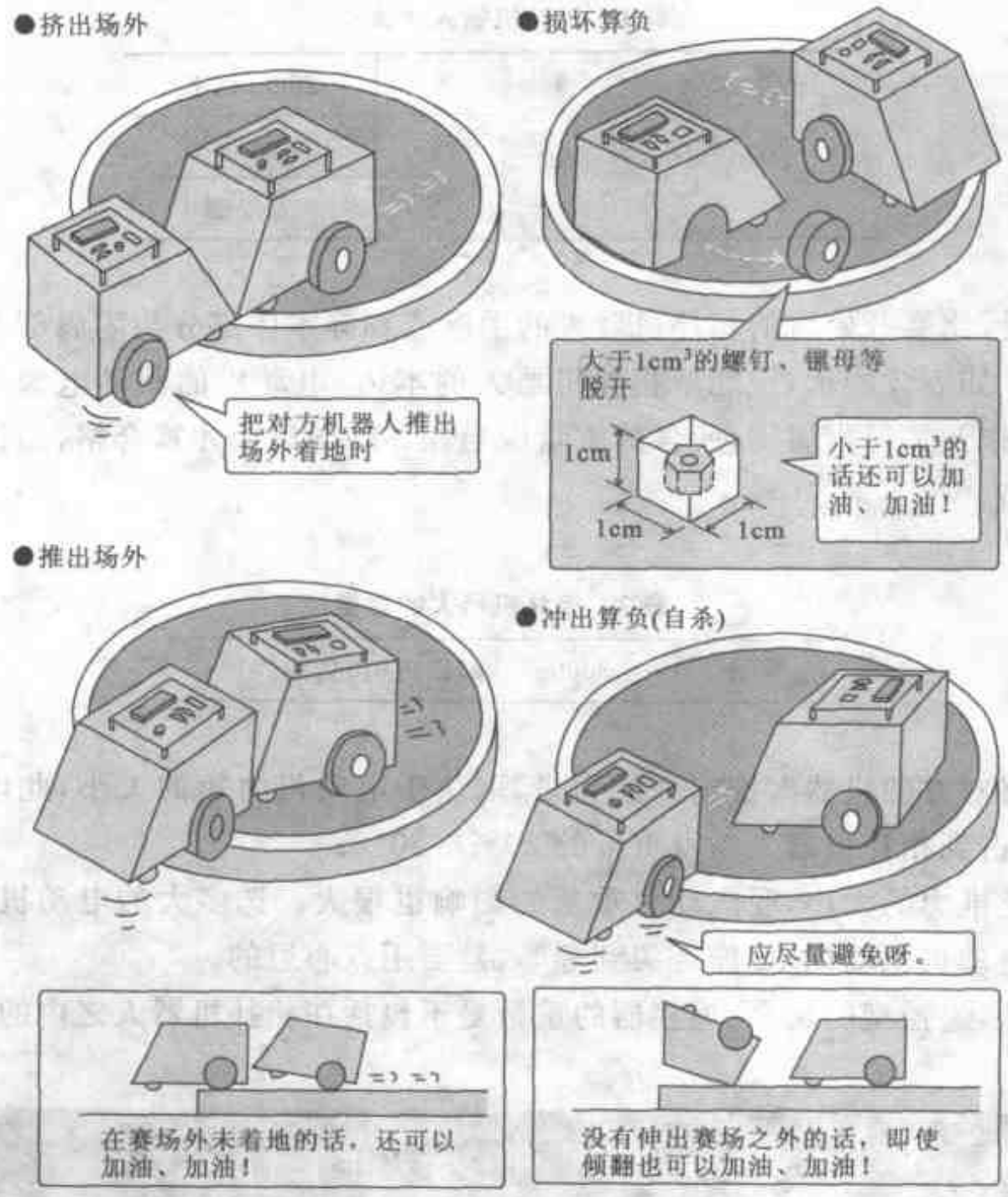

●挤出场外
把对方机器人推出场外着地时
●损坏算负
大于1cm³的螺钉、螺母等脱开
1cm
1cm
1cm
小于1cm³的话还可以加油、加油！
●推出场外
在赛场外未着地的话，还可以加油、加油！
●冲出算负(自杀)
应尽量避免呀。
没有伸出赛场之外的话，即使倾翻也可以加油、加油！

图 3　主要的决胜规则

3 相扑机器人的组装(1)

相扑机器人的主要形状



- **相扑机器人本体的构造**

相扑机器人的构造，其大小、重量均要在规定的范围之内，为了制作出强有力的机器人，制作者是要动一番脑筋的。这里介绍制作者们的一些主要技巧。

Ⅰ 相扑机器人的形状

楔块型相扑机器人(参见图 1)

一般相扑机器人的形状为两轴驱动型(两个电动机，即两轮驱动)。

1994 年，日本关东地区比赛大会所参加的相扑机器人，约有 70%是两轴驱动的楔块型机器人。其理由大致如下：

- 相扑机器人的稳定性好。与四轴驱动相比，两轴驱动型易于平衡地布置所有的零件(如图 1 所示，在楔块前端布置赛场检测传感器，中间布置电动机驱动电源，后面放置驱动电动机)。
- 易于钻入对方相扑机器人的下方。楔块形在比赛过程中，最适宜的取胜方式是“钻入”对方相扑机器人的下面。



图 1　楔块形相扑机器人

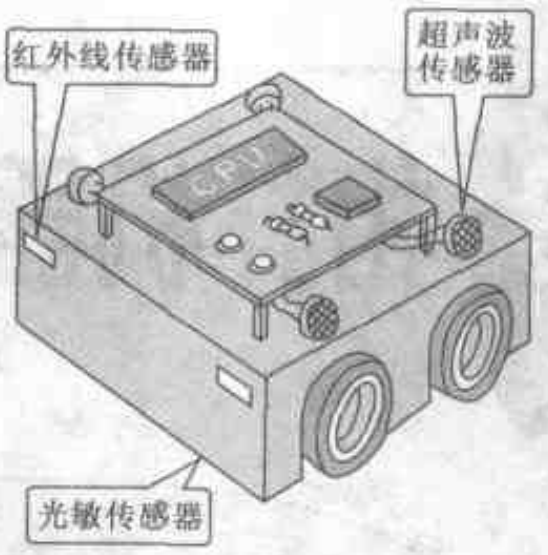


图2　快餐盒型(四轴驱动)相扑机器人

• 可装大功率的电动机。两轴驱动型有较大的空间，能装大功率电动机与驱动轮胎。

快餐盒型相扑机器人(参见图 2)

四轴驱动型大多就是所谓“快餐盒”型，与楔块型相比，在前端也装有 1～2cm 左右的楔块金属，当与对方相扑机器人碰撞时，是力图使对方抬起来的部件。

这是“相互推挤以力取胜”类型，四个电动机能产生可引以自豪的力量。

II　轮胎数(电动机数)

轮胎数就是电动机数，也就是驱动轴数，有 2 轴型、4 轴型和 6 轴型几种。

相扑机器人大部分都是 2 轴，4 轴型的。一般说来，电动机数量与力量成正比，但是与四轴的中型电动机相比，两轴的强力电动机要更有力量一些。

我想无论如何配置不同的驱动轴数，在电动机与减速比等各种条件的选择上，也会影响到胜负。

对两轴型来说，是把后轴作为电动机轴的，在前轮部位，则常在中央部位配置一个 12mm 的球形万向轮，或者在左右各配一个球形万向轮。

借用遥控模型用的车轮

在无线遥控专卖店可买到各种尺寸的车轮。将塑料表面涂漆加工，就可以当轮子用。购买时应当想好，是买铝制的，还是买塑料制造的。当然，铝制品的强度要好得多。

自制车轮

铝材是易于买到，也易于加工的，选用时要考虑车轮的强度与比重(重量)的平衡。

如图 3 所示，为了充分发挥电动机带动轮胎的功能，必须尽量减轻车轮的重量(掏空)。因此应当用图 3 所示的方法。

① 平衡地打几个孔的方法。

② 不影响车轮强度的掏空方法。

在钻床上打孔的时候，若注意图 4 所示要点，就能保证不妨碍实用所需的加工精度。

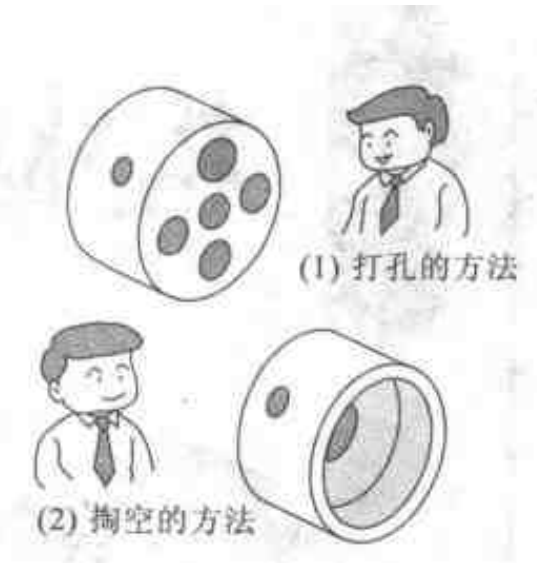


图 3　车轮的掏空(减小重量)



图 4　用钻床进行车轮的掏空加工

4 相扑机器人的组装(2)

万向轮与轮胎的种类



1 球形万向轮

前轮的用法

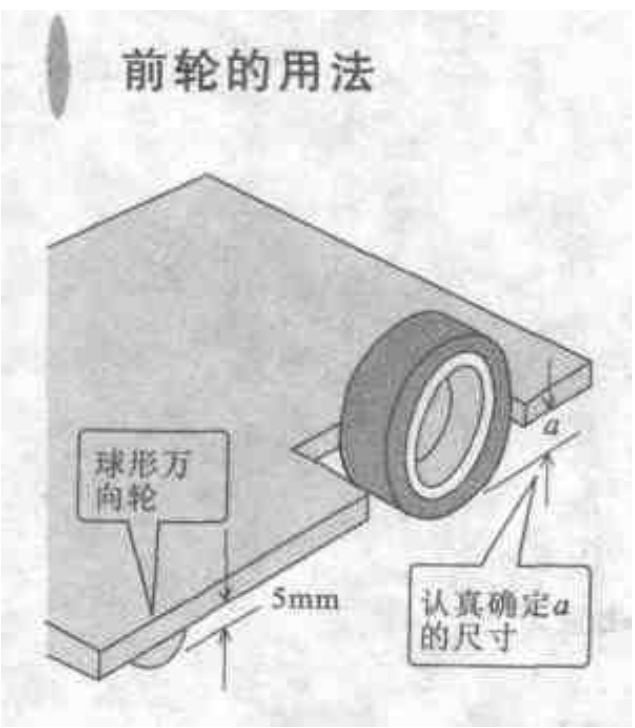


图 1　作前轮用的球形万向轮

两轴驱动的相扑机器人，其前面的车轮用 12mm 的球形万向轮。

安装在车架底面上的球形万向轮与赛场的间隙约为 5mm。因此，如图 1 所示，后部车架底面与赛场的间隙应当以 a 为基准。在决定万向轮的位置时，应着重考虑不让对方相扑机器人从前方或侧面进入。

作为“救命菩萨”的球形万向轮

如图 2 所示，当球形万向轮一滚出赛场之外，就不能用自己的力量退回，这时，图 2 所示的球形万向轮就成了“救命菩萨”。

这就是冲出去时的对策。其目的就是用一个球形万向轮也能操纵。

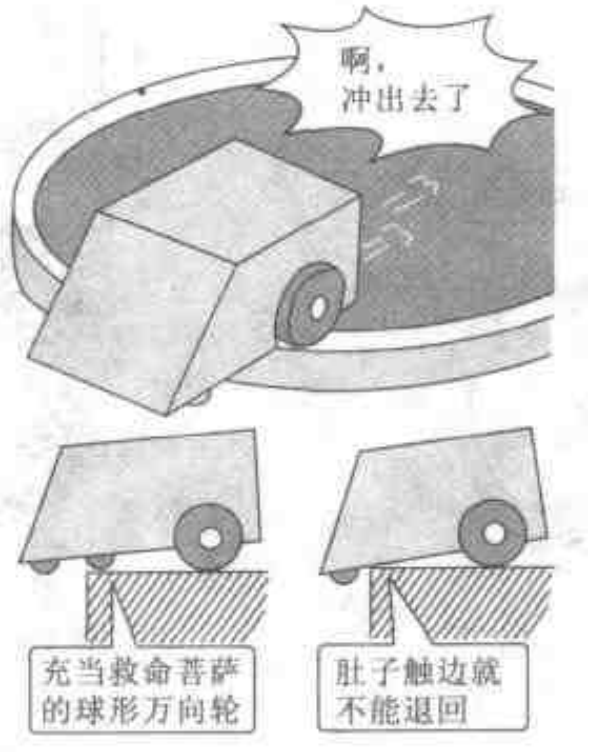


图 2　充当"救命菩萨"用的球形万向轮

本来球形万向轮是在赛场表面作为滚动用的，实际上，贴在球上的玻璃胶带是可以在赛场的橡胶表面快速地滑动的。

在使用球形万向轮方面，应当试一试。

Ⅱ　轮　胎

轮胎是将电动机的力量有效地作用在赛场上的重要部件。不管是多大的电动机驱动力加在赛场表面上，若轮胎打滑，也是没有意义的。

轮胎与车轮一样，大多使用自制的或遥控模型用的轮胎，或者试用其他工业产品的合适的轮胎状的零件。取得的途径是互相保密的。

遥控模型轮胎

遥控模型轮胎的种类，有所谓 F1 汽车模型轮胎、越野轮胎等数种。要根据轮胎的直径来选用。选择的重点应当是，为了得到尽可能大的对赛场表面的附着力。

图 3 表示遥控型轮胎的例子。

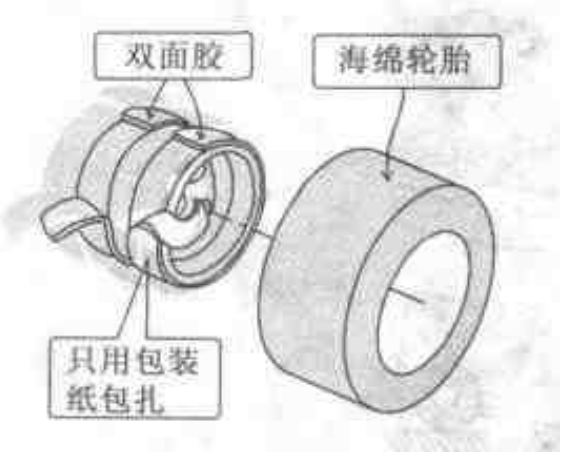


图 3　遥控模型轮胎的例子

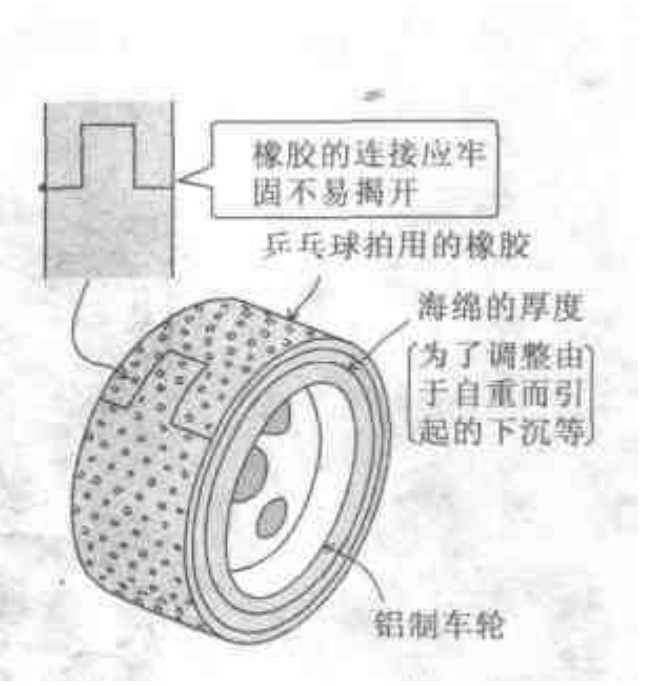


图 4　用乒乓球拍橡胶的轮胎

自制轮胎

在自己确定轮胎直径的场合，就要自制轮胎，其方法如图 4 所示，将乒乓球拍的橡胶，用双面胶等粘接材料，粘贴在自制的轮胎上。

所用的橡胶大体可分为：

- 正胶型(表面软橡胶)。
- 反胶型(里面软橡胶)。

另外，橡胶与轮胎之间，要粘贴适当厚度的海绵，也是应注意的要点。

Ⅲ　增强轮胎附着力的方法

实际在机器人相扑中，为了增大轮胎的附着力，常使用以下方法，然面无论用什么方法，都会因轮胎表面的脏物，如泥土、灰尘等，而减小附着力。



图 5　用橡胶清洗剂清洗轮胎表面

- 用乒乓球拍用的泡沫橡胶清洁剂等，涂在轮胎表面(参见图 5)。
- 把浆糊涂在轮胎表面的方法。
- 在轮胎上包裹生橡胶管的方法。

例如，把取自遥控模型轮胎上的生橡胶管，切成适当宽度，包在轮胎上。

这种场合，由于管子的结合力随着时间的推移，轮胎的直径会变小，因此必须把握好包裹管子的时间。

5 相扑机器人的组装(3)

减速机构与驱动力矩的关系



Ⅰ 减速机构

相扑机器人在赛场上的速度，取决于电动机的转速。

改变电动机的转速，用电气方法是改变电压，使用脉宽调制(PWM)控制方法。

为了有效地产生电动机的力矩，常用以下几种机械减速机构。

使用齿轮减速电动机

带齿轮的电动机，也叫齿轮减速电动机(参见图 1)。

制造厂提供各种不同减速比的电动机，可从产品样本中选用，较容易买到。

可将轮胎直接安装在齿轮减速电动机的已减速到所需转速的轴上，而不必自己制作减速机。

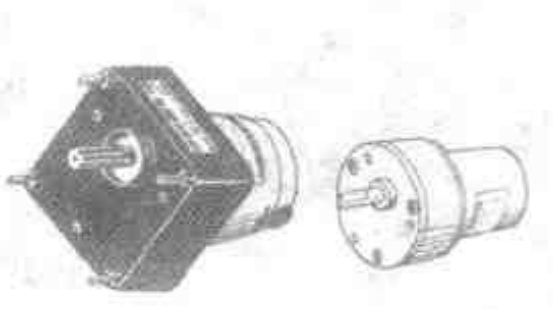


图 1　齿轮减速电动机

对初次制作相扑机器人的人来说，电动机与减速机的购置一次搞定，制作就方便了。

用伞齿轮

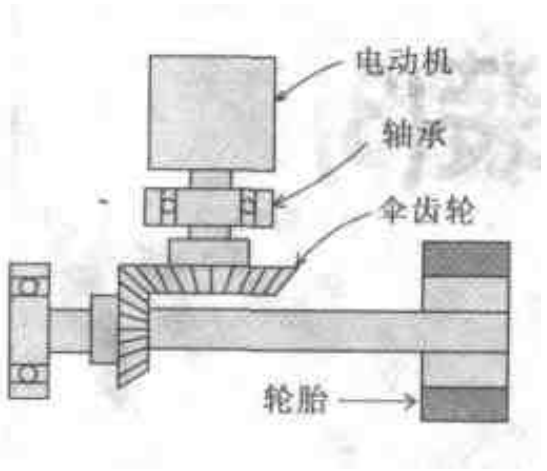


图 2　用伞齿轮减速机构

伞齿轮可使电动机轴与轮胎轴如图 2 所示，成直角位置来布置。因此可选用尺寸较大的电动机。

螺旋伞齿轮同时啮合的齿数多，可平滑地传递转矩。此时，由于螺旋会引起的垂直方向作用的推力，必须在选择轴承时予以考虑。

使用蜗轮蜗轩

也有用图 3 所示的蜗轮蜗杆减速机构的。这种方法的减速比大，但力矩的传动效率很低。另外，由于蜗轮与蜗杆的正交，装配和加工都困难。

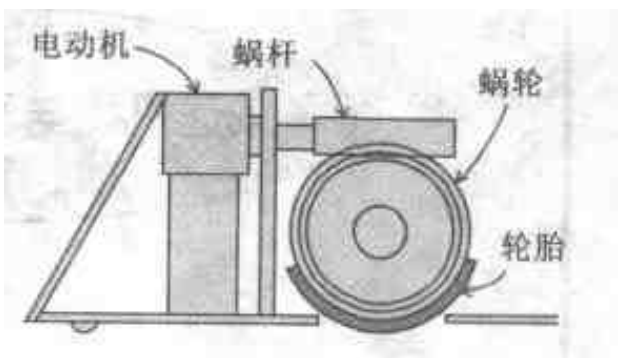


图 3　用蜗轮蜗杆的减速机构

II　驱动力与力矩的关系

相扑机器人的前进、后退、回转等操作，要靠轮胎与赛场的附着力（摩擦力），这里只考虑相对于赛场的轮胎上产生的驱动力。

在图 4 中，当轮胎被来自电动机的转矩 T 驱动时，在赛场与轮胎接触点上产生力 F。

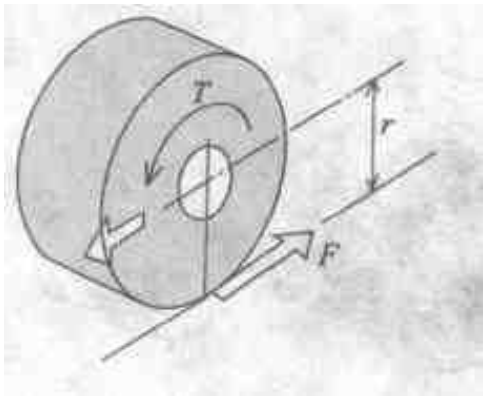


图 4　轮胎产生的驱动力

这个力是轮胎对赛场的挤压力（机器人的操纵力），其大小与力矩成正比，与车轮半径成反比。可用下列公式表示：

$$F=\frac{T}{r}$$

式中　F—— 驱动力(N)；

T——转矩(N·m)；

r—— 轮胎半径(m)。

由此公式可知，要得到大的驱动力，就必须有大的转矩。

下面来讨论加大转矩的方法。

增大转矩的方法

再用上述公式，来考虑一下产品样本中转矩的定义，简单说来，“转矩 T 可看作是旋转力矩的大小”。

现在，在图 5(a)所示的有 60×10^{-4}N·m 转矩的直流电动机(额定转速为 8000r/min)上，安装 6cm 的轮胎时，试求其驱动力。

则力为

$$F=T/r=(60\times10^{-4})/0.03$$
$$=0.2(\mathrm{N})$$

然后再考虑一下图 5(b)所示的，在电动机轴上安装 1cm 的齿轮，用 6cm 齿轮减速后的轮胎所产生的力 F，则力为

$$F=60\times10^{-4}/0.005=1.2(\mathrm{N})$$

这个力的大小，是通过齿轮传递的。

现在若求 6cm 的齿轮的转矩，则为

$$T=1.2\times0.03=0.036(\mathrm{N}\cdot\mathrm{m})$$

是额定转矩的 6 倍。

再求此时轮胎的驱动力为

$F=0.036/0.03=1.2(\mathrm{N})$。

也是额定驱动力的 6 倍。

但此时的转速则是额定转速的 1/6，成了 1 333r/min。

这一转速之比，称为减速比。

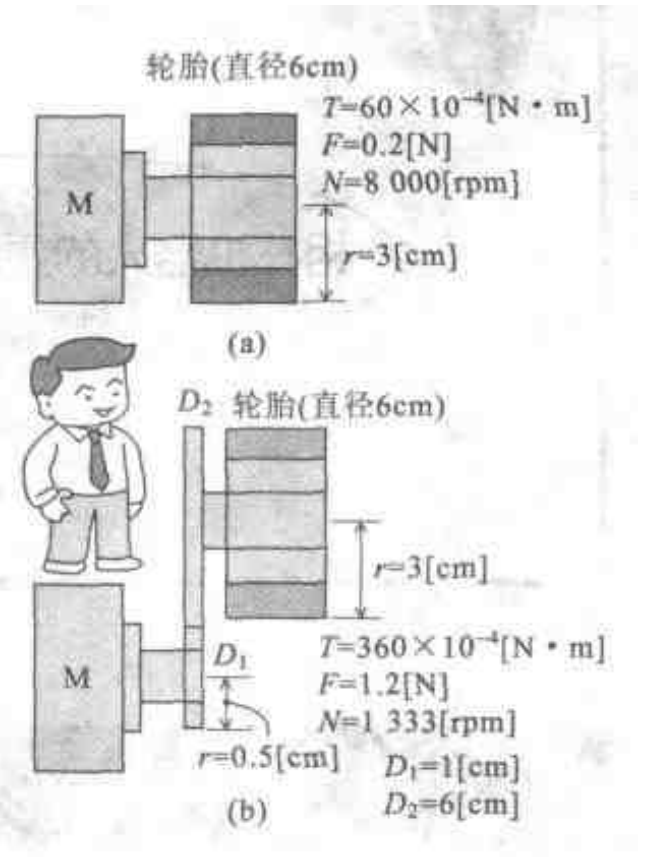


图 5　驱动力与转速的关系

现在，若使用 1/30 的齿轮减速电动机，则转速成为 1/30，驱动力则成为 30 倍。因此，力量大的相扑机器人，是通过减速机构对电动机进行减速，才得到大的驱动转矩的。汽车在启动时，使用低速齿轮，也是相同的原理。

当然，无论用多大的减速比，电动机本身的输出功率并没有增加。

6 相扑机器人的组装(4)

相扑机器人的重心与驱动速度



I 相扑机器人的重心位置

因为要靠有效利用相扑机器人的重量来比赛，所以相扑机器人的重心位置是很重要的。

前后的重心位置

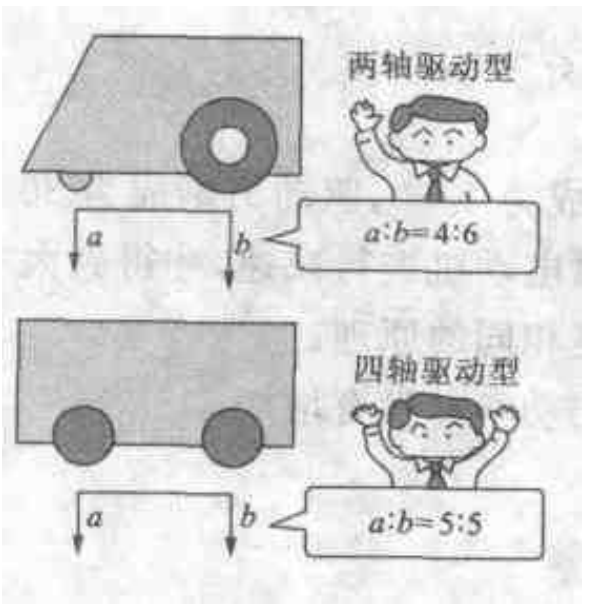


图 1　相扑机器人的前后重心位置

两轴驱动的两个球形万向轮与两个电动机的场合，往往认为重心越靠近电动机端，则所产生的动力越大。

但是，这种场合，重心当然是移往后方的。因此，当对方相扑机器人从正面攻击时，容易造成抬起的“担心”状态，就是被对方钻入而被打败的结局。

同时还必须防止对手从横向与侧后方的攻击。根据一些有制作相扑机器人经验的人士的说法，应如图 1 所示，“以前轮 4、后轮 6 的比例”来分配重量。

重心高度的位置，与“相扑运动员的秘诀：把腰压低”一样，希望降低重心。

左右方向，则重心应当尽量取中间部位，加大球形万向轮轮胎间隔，以提高稳定性，也是要紧的。

重心位置的简易测量法

所制作的相扑机器人的大概重心位置，可用图 2 所示的方法来求得。

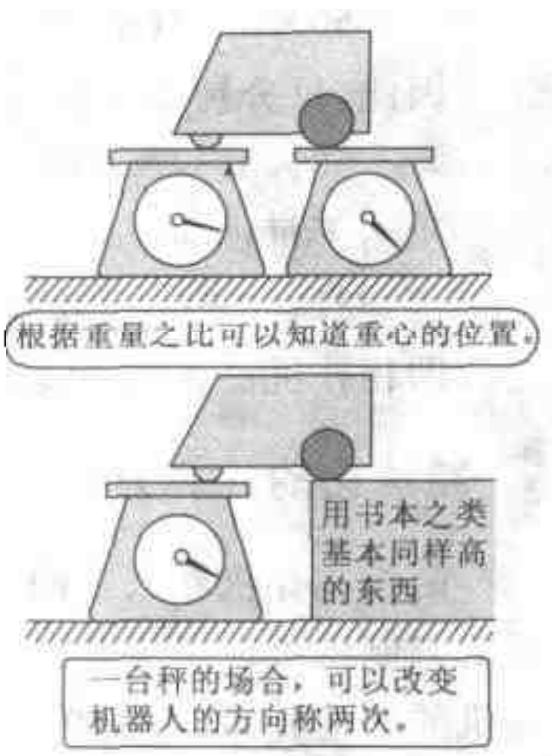


图 2　重心位置的测量方法

重心位置的调整

重心位置的调整，一般可用电动机、电池块等能比较简单地改变位置的零件。

另外，可用片状小铁块等，铁块的大小可以从铁的比重为 7.8kg/cm² 计算出来。

Ⅱ　相扑机器人的驱动速度

相扑机器人的驱动速度的调整依据为：要以“干吧！加油”分隔线中冲出去，在 1.54m 赛场中自由地来回运动，并且不得冲出白色的赛场边界线，获得与对方相扑机器人进行战斗所必须的动力。

相扑机器人的速度计算方法

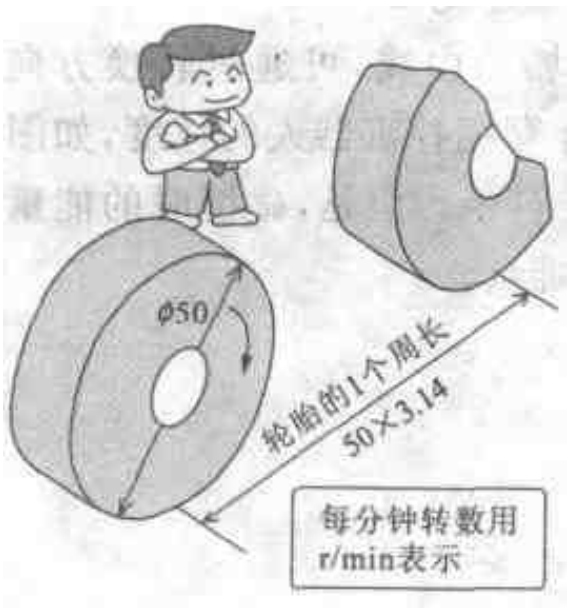


图 3　轮胎每转一圈的移动距离

从

距离＝速度×时间

的关系中可知

速度＝距离÷时间

1 秒的速度＝轮胎外围圆周长度×每分钟转速/60

例题

试求轮胎的直径为 50mm，200r/min（每分钟的转速）相扑机器人的速度。

轮胎转一圈或一个圆周所移动的距离，其长度如图 3 所示为

50×3.14(mm)

因此，每分钟 200 转，则为 200 倍。

50×3.14×200(mm)－31 400(mm)

相当于每秒为

31400÷60＝523(mm)

即相扑机器人的速度为每秒 0.523m。

减速比的计算方法

制作相扑机器人在确定轮胎尺寸时，主要考虑要受到 200cm×200cm 底面积的限制就可以了。此时，通过自己所设计的相扑机器人的速度，就可以从电动机的额定转速，求出必要的减速比。

「例」

轮胎	直径 40mm
相扑机器人速度	80cm/s
电动机的额定转速	4 500r/min

80 cm/s 速度为每分钟

80×60 ＝4 800(cm/min)

＝48 000(mm/min)

以此速度求得轮胎直径为 40mm 的每分钟速度为

N ＝ 48 000/(3.14×40) ＝ 381/(r/min)

必要的减速比为

i ＝381/4 500＝1/11.8

这种场合就取减速比 1∶12。



图 4　相扑机器人的最高速度

传感器检测赛场的白线，可通过转换方向用的反应时间，来计算相扑机器人的速度，如图 4 所示，每秒 1m 称为临界速度，若速度过快，则可能自杀。但是，碰撞时的能量与相扑机器人的速度有关，所以要二者兼顾就是其难点。

7 相扑机器人的控制

控制系统与CPU



I 控制系统

可以认为:“智能型相扑机器人的控制方法没有限制”。与无线遥控型不同,因为智能型相扑机器人的控制操作,要靠自己判断,所以要把控制系统装在机器人自身的机座上。

也就是说,控制系统需要有相当于人们所说的判断用的头脑,相当于取得信息用的五官,CPU、传感器以及使它们起作用的能源。

智能型相扑机器人有着无线遥控型所没有的趣味。

智能型相扑机器人的控制系统概要如图 1 所示。

II 单片机

控制计算机常用单片式微型计算机(简称单片机)。单片机的定义如图 2 所示,以 8 位作为代表的 CPU 有 Z80 等,是将微型计算机所要用到的全部功能,以及作为外围集成电路(IC)的并行输入输出接口(PIO)、时钟控制器(CTC)、串行输入输出口(SIO)等,均集成到一片集成电路(IC)中,即称为单片机。也有 16 位的单片式微型计算机。

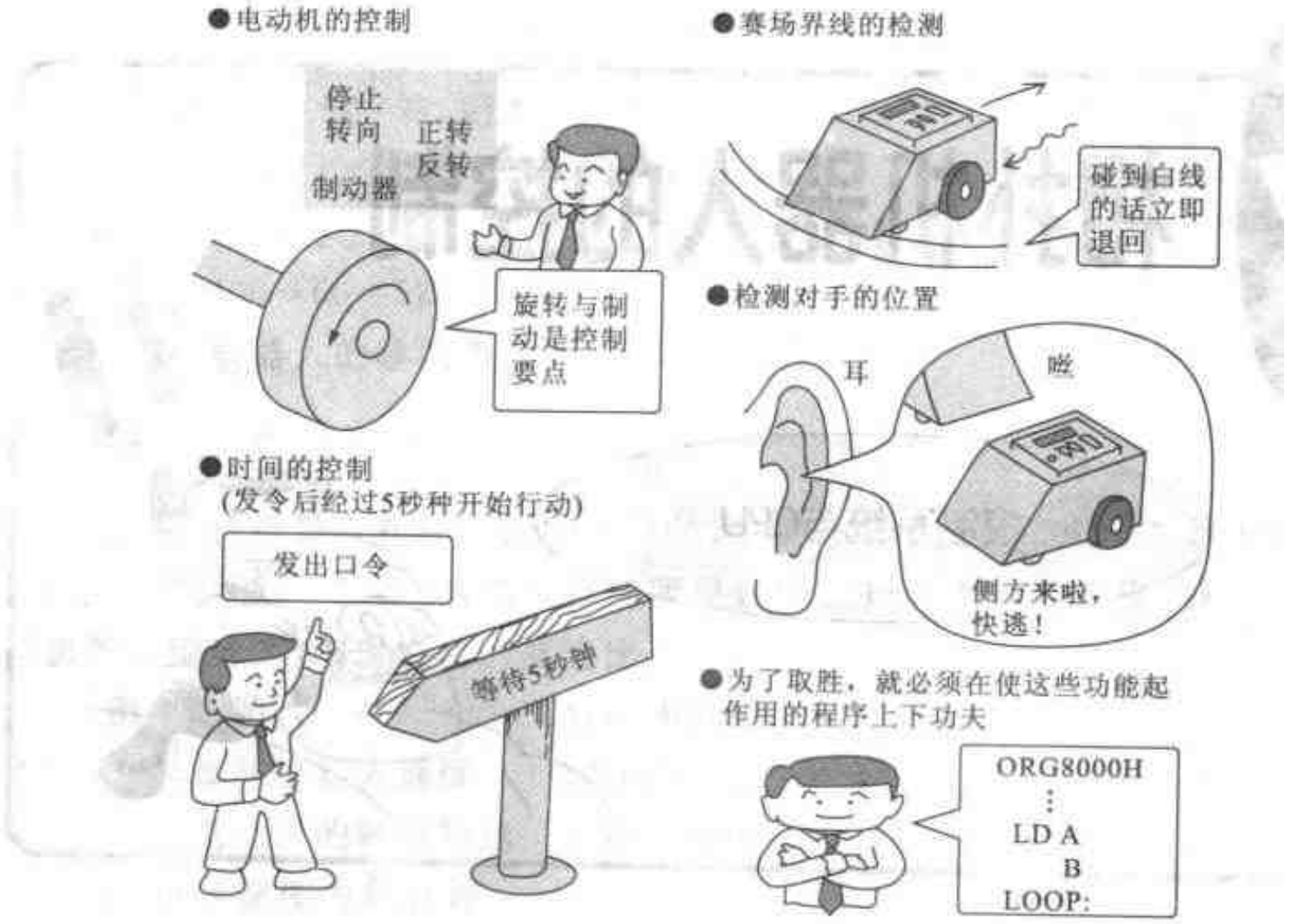


图 1　智能型相扑机器人的控制系统

由于单片机体积小，已广泛用于其他的电子设备或产业用的控制设备中。

在单片机中含有只读存储器(ROM)或读写存储器(RAM)等功能的一体化卡片式计算机，如图 3 所示，常用于相扑机器人的控制中。

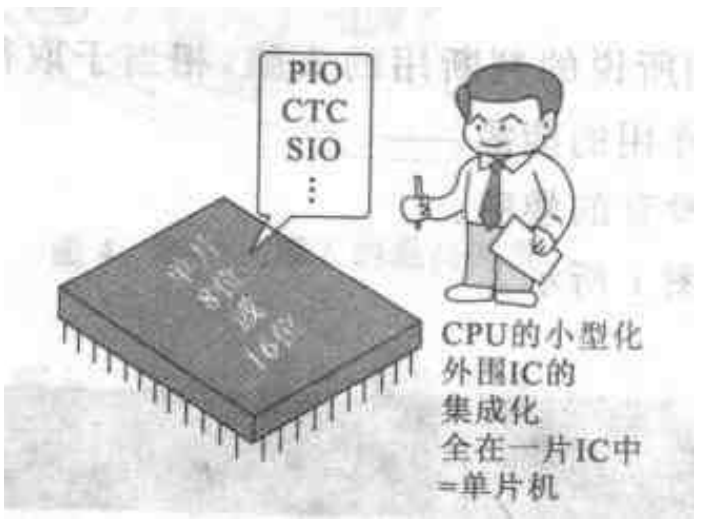


图 2　单片式微型计算机

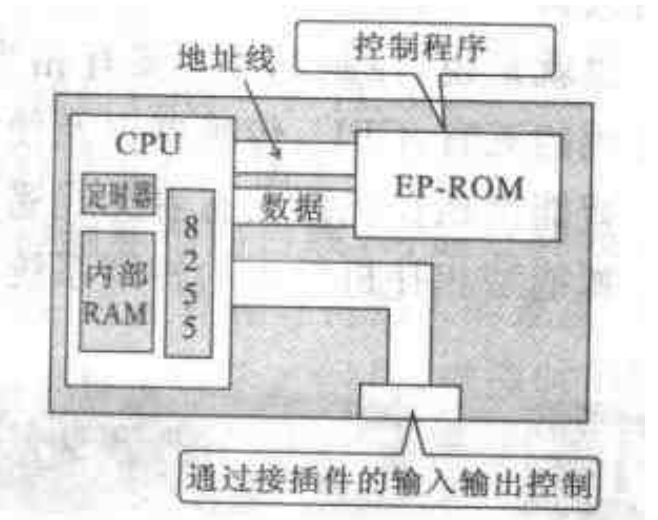


图 3　卡片式计算机的结构

Ⅲ 单片机的编程

单片机的源程序，是用图 4 所示的个人计算机的编辑器编制的。

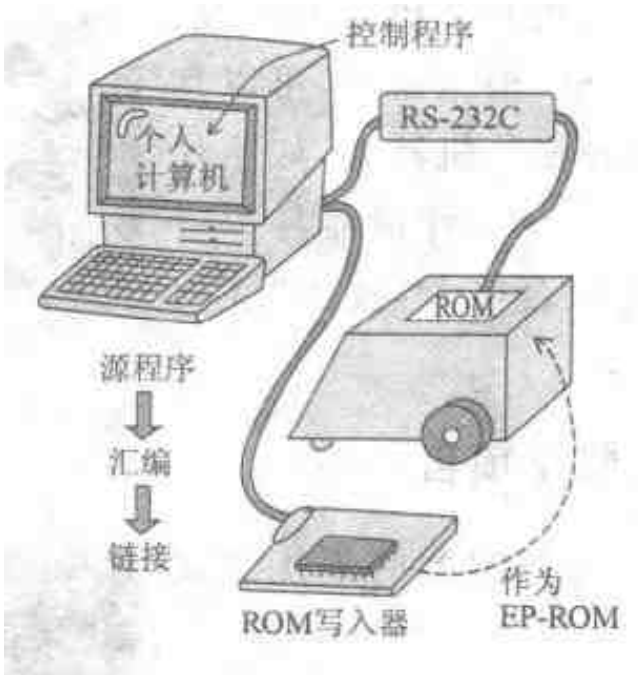


图 4　单片式微型计算机的编程

若将单片机与 RS-232C 电缆连接，可通过所编制的程序，在个人计算机的监视器上进行控制。因此，必须有编辑、汇编、链接等开发用的支持软件系统。编制好的程序也可简单地转录、修改，验证程序的工作也很容易。

通过这些程序，只要按下按钮开关等，起动 ROM 中的程序，用来自光传感器等的信号，即可进行电动机启动等控制。

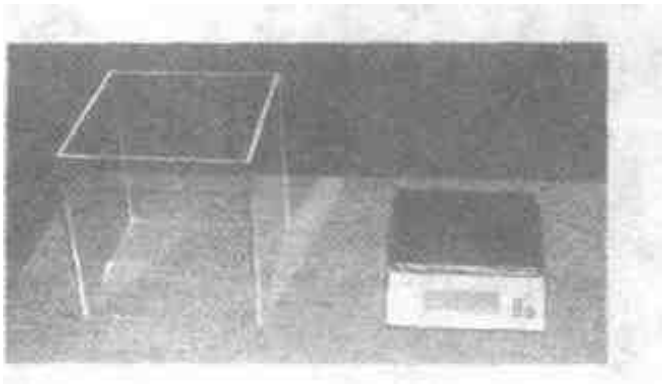
一般来说，要通过 ROM 写入器将程序写入 EP-ROM 中，采用装入卡片式计算机的控制方法。

无论何种控制方法，都是通过数个能用于控制的输入输出口，以信号交换的方式，来对执行机构的电动机等进行控制的。

相扑机器人比赛大会规则摘要

比赛的方法

三场两胜制，先胜两场的相扑机器人取胜。比赛时间 3 分钟。有加时赛，根据需要，可以判断、抽签决定胜负。得胜的相扑机器人，如照片 1 所示，要用 200mm×200mm 的计量器与数字秤校核其大小与重量，验证合格者，授予“胜利名誉”(参见照片 1)。



照片 1　相扑机器人的计量器与秤

相扑机器人的主要禁止项目

① 禁止设置干扰对方控制器的干扰波发生装置。

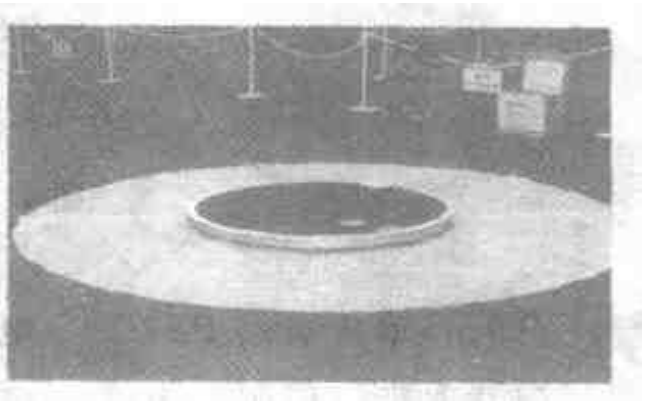
② 禁止使用损坏赛场的部件。

③ 不得内置液体、气体、粉末往对方相扑机器人喷射。

④ 不允许有扔、洒物品的装置。

⑤ 不得用吸盘、浆糊等将相扑机器人固定在赛场上。

更详细的资料，可查阅机器人相扑大会的规则，赛场大小等的规定。



照片 2　关东地区比赛大会的赛场与外围空地。

赛场大小等的规定

图 1 表示赛场与铺砂的主要尺寸。

直径：1.54m

高度：5cm

材质：黑色硬橡胶

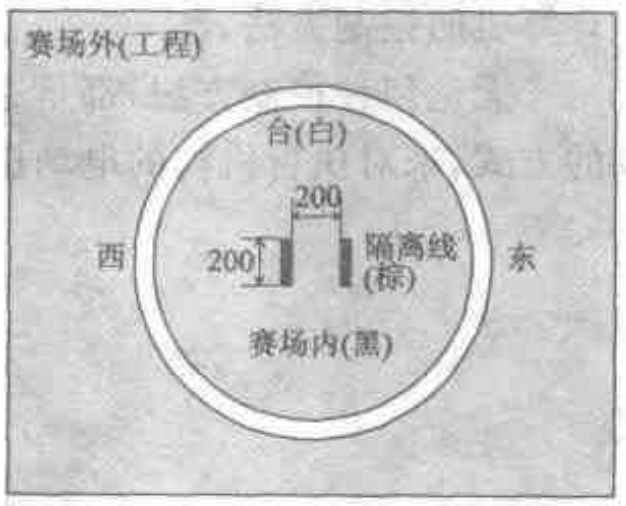
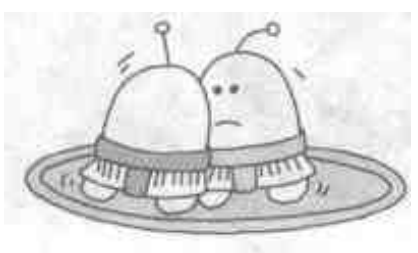


图 1



赛场的台(圆环)：宽 2cm 长 20cm，棕色线。

★赛场外围(空地)，也有圆形的，见照片 2。

译者版

进入21世纪，尤其我国加入WTO之后，科学技术、工农业生产迎来了新的发展机遇，也面临着新的挑战。

为了适应在国际大市场上竞争的需要，各行各业的人们都迫切需要学习新技术、新理论、新方法。机电一体化正是所有人都多少会接触到的实用技术。它广泛深入到从军用到民用、从工业到农业的所有国民经济领域，小到手表、照相机，大到汽车、飞机、火箭、人造卫星、核电站等，无不应用了机电一体化的技术和产品。

《机电一体化》这本书，是满足各行各业人们需要的一本入门教材。书中对原理的讲述深入而详细，图文并茂，文字浅显易懂，并有练习题、挑战题，便于复习掌握要点。非常适合作为中高级技师、就业培训及军地两用人才的培训教材，也可以供有初中以上文化程度的有兴趣的读者自学之用。也是理工科中等专业学校的教师们了解这方面知识的必备教材或参考手册。本书的编写既全面地描述了机电一体化的各方面技术，充分阐述其基本原理，又有非常实用的例子，适合实际制作，并且各章节中一个一个专题均自成体系，相对独立。适合于不同层次的读者任意选学。由于本书的上述特色，其原版书十分畅销并已多次重印，深受读者欢迎。

本书中所提及的内容，既有当前正在普及的技术，也有一些比较新颖的内容，如最后部分介绍的机器人的制作等。读者可在掌握本书内容的基础上，进一步学习自己感兴趣的相关新技术，努力跟上时代的前进步伐。